

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.04 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА»,  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22 декабря 2016 г., № 21

О присуждении Соболевой Наталье Николаевне, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой» по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) принята к защите 19.10.2016 г., протокол № 15 диссертационным советом Д 212.285.04 на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России; 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Соболева Наталья Николаевна, 1988 года рождения.

В 2010 году окончила ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению «Материаловедение и технология новых материалов»; в 2013 году окончила очную аспирантуру ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, по специальности 05.16.09 – Материаловедение; работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории конструкционного материаловедения ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской ака-

демии наук, г. Екатеринбург, Федеральное агентство научных организаций.

Диссертация выполнена в лаборатории конструкционного материаловедения ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Федеральное агентство научных организаций.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Макаров Алексей Викторович, ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), отдел материаловедения и лаборатория механических свойств, заведующий.

Официальные оппоненты:

**Потехин Борис Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (г. Екатеринбург), кафедра технологии металлов, профессор;

**Ильиных Сергей Анатольевич**, кандидат технических наук, ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), лаборатория порошковых, композиционных и наноматериалов, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск – в своем положительном заключении, подписанном Кульковым Сергеем Николаевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией физики наноструктурных функциональных материалов, указала, что диссертация Соболевой Н.Н. является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной исследованию влияния термической и фрикционной обработок на структуру и свойства покрытий, полученных лазерной наплавкой самофлюсующихся NiCrBSi порошков.

Научные результаты, полученные автором, имеют существенное

значение для науки и практическую ценность.

По объёму полученных экспериментальных результатов, уровню их обсуждения и обоснованности выводов, по научной новизне и практической значимости работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор – Соболева Наталья Николаевна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 30 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8. Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 1 патента РФ на изобретение; 1 статьи, опубликованной в научном журнале; 8 статей и 12 тезисов докладов, опубликованных в сборниках материалов международных (8), всероссийских (9) и региональных (3) научных конференциях. Общий объем публикаций – 7,41 п.л., авторский вклад – 2,22 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

**статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:**

1. Соболева Н.Н. Влияние микроструктуры и фазового состава на трибологические свойства NiCrBSi лазерных покрытий / Н.Н. Соболева, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева, Н.А. Поздеева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – №4 (3). – С. 869-873 (0,25 п.л./0,10 п.л.).

2. Соболева Н.Н. Формирование композиционного покрытия NiCrBSi—TiC с повышенной абразивной износостойкостью методом газопорошковой лазерной наплавки / А.В. Макаров, Н.Н. Соболева, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – №11 (107). – С. 38-44 (0,44 п.л./0,15 п.л.).

3. Соболева Н.Н. Упрочняющая фрикционная обработка NiCrBSi лазерного покрытия / Н.Н. Соболева, А.В. Макаров, И.Ю. Малыгина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 4 (61). – С. 79-85 (0,44 п.л./0,16 п.л.).

4. Соболева Н.Н. Контактная выносливость NiCrBSi покрытий, полученных методом газопорошковой лазерной наплавки / Р.А. Саврай, А.В. Макаров, Н.Н. Соболева, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2014. – №4 (65). – С. 43-51 (0,56 п.л./0,12 п.л.).

5. Соболева Н.Н. Формирование износостойкого хромоникелевого покрытия с особо высоким уровнем теплостойкости комбинированной лазерно-термической обработкой / А.В. Макаров, Н.Н. Соболева, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – №3. – С. 39-46 (0,50 п.л./0,13 п.л.).

6. Соболева Н.Н. Вихретоковый контроль усталостной деградации при контактном нагружении NiCrBSi покрытий, полученных методом газопорошковой лазерной наплавки / Р.А. Саврай, А.В. Макаров, Э.С. Горкунов, Л.Х. Коган, Н.Н. Соболева, И.Ю. Малыгина, А.Л. Осинцева // Дефектоскопия. – 2015. – №11. – С. 43-58 (1,0 п.л./0,15 п.л.).

7. Соболева Н.Н. Повышение микромеханических свойств и износостойкости хромоникелевого лазерного покрытия финишной фрикционной обработкой / А.В. Макаров, Н.Н. Соболева, Р.А. Саврай, И.Ю. Малыгина // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №4 (34). – С. 60-68 (0,56 п.л./0,18 п.л.).

8. Soboleva N.N. The Behavior of Gas Powder Laser Clad NiCrBSi Coatings Under Contact Loading / R.A. Savrai, A.V. Makarov, N.N. Soboleva, I.Yu. Malygina, A.L. Osintseva // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2016. – Vol. 25(3). – P. 1068-1075 (0,50 п.л./0,10 п.л.).

#### **Патент:**

9. Патент № 2492980 Российская Федерация, МПК В23К26/34, В23К26/14. Способ получения теплостойкого покрытия [Текст] / Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (RU), №

2012114841/02, заявл. 13.04.2012, опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26. - 6 с. (0,38 п.л./0,10 п.л.).

На автореферат поступили положительные отзывы от:

1. Гнюсова Сергея Федоровича, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Института неразрушающего контроля ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. Без замечаний.

2. Тарасова Сергея Юльевича, д-ра техн. наук, ведущего научного сотрудника лаборатории физики упрочнения поверхности ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск. Вопросы и замечания: 1) уделялось ли в работе внимание влиянию количества  $\gamma$ -фазы в структуре покрытий ПГ-СР2 и ПГ-10Н-01 при исследовании износостойкости в атмосфере аргона и на воздухе? 2) можно ли распространить выводы, сделанные в данной работе, на случай незакрепленного абразива? 3) учитывались ли при выборе типа подложки способность подложки деформироваться под действием контактных напряжений и возможное формирование остаточных напряжений растяжения?

3. Мерсона Дмитрия Львовича, д-ра физ.-мат. наук, профессора, директора Научно-исследовательского института прогрессивных технологий ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти. Без замечаний.

4. Харанжеского Евгения Викторовича, д-ра техн. наук, доцента, заведующего лабораторией физики и химии материалов ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск. Замечание: пункт 1 научной новизны и п 1. положений, выносимых на защиту, о превалирующем влиянии твердости упрочняющих фаз на сопротивление абразивному изнашиванию недостаточно обоснован. В автореферате не представлены доказывающие это положение корреляционные зависимости.

5. Кайбышева Рустама Оскаровича, д-ра физ.-мат. наук, руководителя лаборатории механических свойств наноструктурных и жаропрочных материалов, и Тихоновой Марины Сергеевны, канд. физ.-мат. наук, научного сотрудника лаборатории механических свойств наноструктурных и жаропрочных материалов ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород. Вопросы и замечания: 1) из автореферата не ясен химический состав образцов под маркировкой состава «А» в таблице 1.2; 2) каким образом автор идентифицировал карбиды  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  и  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  в структуре покрытия?

6. Иванова Юрия Федоровича, д-ра физ.-мат. наук, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории плазменной эмиссионной электроники ФГБУН Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. Без замечаний.

7. Копцевой Натальи Васильевны, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры технологий металлургии и литейных процессов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Замечания: 1) не объяснен механизм образования эвтектики  $\gamma + \text{Ni}_3\text{B} + \text{Ni}_3\text{Si}$  при нагреве и охлаждении от  $1025^\circ\text{C}$  лазерного наплавленного покрытия ПГ-10Н-01, а также роль этой структурной составляющей в сохранении высокой микротвердости и низкой интенсивности изнашивания после такой комбинированной обработки; 2) к сожалению, приходится отметить низкое качество изображений микроструктуры на рис. 9.

8. Соколова Геннадия Николаевича, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры «Оборудование и технология сварочного производства», и Артемьева Александра Алексеевича, канд. техн. наук, доцента кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград. Замечания: 1) утверждается о достаточно равномерном распределении структурных составляющих по высоте слоя наплавленного

металла (с. 9), но данные рис. 1а и рис. 2 свидетельствуют об обратном, поэтому не ясно, как сравнивать свойства слоев металлов с различными химическими составами, подвергнутых шлифованию до различной толщины? 2) в автореферате не приведены результаты рентгеноструктурного анализа наплавленного металла, что затрудняет оценку его фазового состава.

9. Геращенко Дмитрий Анатольевича, канд. техн. наук, старшего научного сотрудника научно-исследовательского отделения «Наноматериалы и нанотехнологии», и Фармаковского Бориса Владимировича, канд. техн. наук, доцента, ученого секретаря ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей», г. Санкт-Петербург. Замечания: 1) какими должны быть отношения размеров упрочняющей фазы и зерен абразива для того чтобы износ был минимальным при сопоставимых значениях твердости? 2) какова глубина локальных разрушений в местах схватывания, происходит ли разрушение по границе выявленных фаз или оно происходит внутри отдельных фаз? 3) в автореферате не упоминается причина применения именно карбида титана с целью упрочнения. Почему выбрано именно указанное соединение? 4) при добавлении в состав наплаваемого порошка ПГ-СР2 (5, 15 и 25 мас. % TiC) какое реальное содержание TiC в полученном покрытии? 5) как изменяется размер упрочняющих частиц TiC в покрытии после наплавки при увеличении их концентрации в исходном порошке, прослеживается ли закономерность изменения?

10. Симонова Юрия Николаевича, д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», и Беловой Светланы Анатольевны, канд. техн. наук, доцента кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. Вопрос: из автореферата не ясно: двухслойная наплавка - это дважды сканировали лазерным лучом один и тот же ма-

териал или слои различались по составу.

11. Богданова Александра Владимировича, канд. техн. наук, доцента, доцента кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Москва. Замечание: представленные на рис. 9 изображения структуры покрытия после фрикционной обработки не доказывают полного растворения фазы  $Ni_3B$ , о чем сообщается на 20 странице автореферата.

12. Бутова Владимира Григорьевича, д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры материаловедения в машиностроении ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. Замечания: 1) в автореферате помещены рисунки малого размера, в особенности снимки, на которых представлены структуры материала - это недопустимо для публикаций в области материаловедения; 2) в автореферате отсутствуют сведения о свойствах переходной зоны между основным материалом и наплавленным слоем, а также сведения о свойствах всей композиции «основной материал - покрытие», в том числе и об изменении этих свойств после высокотемпературной термической обработки.

13. Лебедева Михаила Петровича, чл.-корр. РАН, д-ра техн. наук, председателя ФГБУН Якутский научный центр СО РАН, заведующего отделом физикохимии материалов и технологий, и Яковлевой Софьи Петровны, д-ра техн. наук, профессора, заведующей отделом материаловедения ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск. Вопросы: 1) оценивалось ли такое воздействие лазерной наплавки, как глубина проплавления и не наблюдались ли макро-неоднородности по сечению единичных лент покрытия? 2) что можно сказать о качестве переходного слоя от покрытия к подложке, формирующегося в примененных технологических условиях лазерного напыления? 3) насколько может быть значима роль сульфидных пленок как фактора направленного регулирования свойств покрытий? Почему в выводах не представлена эта часть проведенных исследований?



14. Дорофеева Геннадия Алексеевича, д-ра физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., главного научного сотрудника отдела структурно-фазовых превращений ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск. Замечания: 1) из микроструктуры на рис. 8(в) с достоверностью не следует, что карбиды и бориды формируют именно каркас (связный или несвязный); 2) к сожалению, в автореферате не представлены данные по количественному изменению фазового состава покрытия в зависимости от температуры отжига.

15. Будилова Владимира Васильевича, д-ра техн. наук, профессора, заслуженного деятеля науки Республики Башкортостан, профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа. Замечание: при анализе износостойкости поверхности после нанесения покрытий композиции NiCrBSi методом газопорошковой лазерной наплавки не сравнивается износостойкость с другими видами упрочнения, которые применяются к примеру для упрочнения валков и рольганг в станах горячей прокатки, штампов горячего деформирования и т.д.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и широкой известностью своими достижениями в области материаловедения и упрочняющих покрытий, наличием публикаций, связанных с исследованием структуры и свойств покрытий, в том числе NiCrBSi покрытий, и технологий их нанесения с целью повышения твердости, износостойкости и других функциональных свойств.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **определены** возможности повышения микротвердости, микромеханических свойств и трибологических характеристик в различных условиях изнашивания NiCrBSi покрытий за счет изменения состава наплавляемого порошка;

- **показана** эффективность упрочнения и повышения износостойкости

при формировании композиционных NiCrBSi-TiC покрытий;

- **установлена** возможность применения покрытия ПГ-10Н-01 при температурах 200-1050 °С;

- **предложен** комбинированный способ лазерно-термической обработки, при которой формируется износостойкое NiCrBSi покрытие с повышенным уровнем теплостойкости;

- **доказана** возможность применения фрикционной обработки поверхности NiCrBSi покрытия скользящим индентором в качестве финишной операции, обеспечивающей одновременное повышение износостойкости, формирование благоприятного напряженного состояния и наношероховатости поверхностного слоя.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **показано**, что эффективность повышения абразивной износостойкости NiCrBSi и NiCrBSi-TiC покрытий определяется главным образом не средней твердостью покрытий, а твердостью упрочняющих фаз и реализующимися механизмами изнашивания;

- **выявлен** эффект повышения твердости и трибологических свойств NiCrBSi покрытий, сформированных лазерной наплавкой, при высокотемпературном (1000-1075 °С) отжиге;

- **установлено** для NiCrBSi покрытий, полученных лазерной наплавкой, формирование фрикционной обработкой наноструктурированного градиентного слоя, характеризующегося повышенной твердостью, износостойкостью, низкой шероховатостью, сжимающими остаточными напряжениями.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **определены** эффективные пути повышения износостойкости наплавленных лазером NiCrBSi покрытий - повышение легированности порошков при наплавке, формирование композиционных NiCrBSi-TiC покрытий и проведение комбинированных лазерно-термических и лазерно-деформационных

обработок;

- **предложен и защищен** патентом способ получения теплостойкого покрытия, включающий газопорошковую лазерную наплавку с последующим отжигом при температурах 1000-1075 °С, обеспечивающий сохранение повышенных уровней твердости и износостойкости покрытий в условиях нагрева до 1000 °С;

- **предложен** наиболее эффективный технологический режим фрикционной обработки покрытия ПГ-СР2: обработка индентором из мелкодисперсного кубического нитрида бора на воздухе при нагрузке 350 Н.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что аргументированность основных положений и выводов, заключений и рекомендаций обеспечена** большим объемом экспериментального материала, использованием апробированных методов микромеханических и трибологических испытаний, применением современных методов изучения структуры, химического и фазового состава, профиля поверхностей и продуктов изнашивания (растровая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, энергодисперсионный и волнодисперсионный микроанализ, 3D-профилометрия), использованием статистических методов обработки экспериментальных данных, воспроизводимостью и согласованностью результатов, полученных в диссертационной работе.

**Личный вклад соискателя состоит в** непосредственном участии в постановке задач исследования; обсуждении и интерпретации полученных результатов, формулировании основных положений, выводов и рекомендаций; участии в подготовке статей, докладов, заявки на изобретение; подготовке и проведении исследований структуры, микромеханических свойств, испытаний на износостойкость, термообработки, фрикционной обработки материалов, исследовании топографии поверхностей трения и продуктов изнашивания.

Диссертация Соболевой Н.Н. соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, является завершенной научно-квалификационной

работой, в которой на основании выполненного автором исследования изложено новое решение научной задачи повышения износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой, вносящее существенный вклад в развитие материаловедения в машиностроении.

На заседании 22.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Соболевой Н.Н. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

  
Печов Артемий Александрович

И.о. ученого секретаря  
диссертационного совета Д 219.085.04  
член совета (приказ ректора УрФУ  
от 30.11.2016 г. № 6907/04)



Лобанов Михаил Львович

22.12.2016 г.