

## Отзыв

### официального оппонента

на диссертационную работу **Соболевой Натальи Николаевны** «Повышение износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

**Актуальность темы исследований.** Большинство деталей выходят из строя по причине износа поверхности. Перспективной технологией, позволяющей восстановить рабочие размеры деталей и продлить работоспособность машин, является нанесение покрытий лазерной наплавкой. Интерес к этой технологии в последнее время резко возрос в связи с развитием лазерных аддитивных технологий. Диссертационная работа Соболевой Натальи Николаевны направлена на повышение износостойкости, прочности и теплостойкости NiCrBSi наплавленных лазером покрытий, наносимых на стальные поверхности, что позволит повысить ресурс работы деталей, работающих в условиях абразивного износа, трения скольжения, высоких температур.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка из 202 наименований, изложена на 190 страницах, содержит 75 рисунков и 22 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость, приводятся положения, выносимые на защиту.

**В главе 1** автором выполнен аналитический обзор литературных источников по исследуемой проблеме, в котором описаны методы лазерной наплавки, основные особенности газопорошковой лазерной наплавки, критически проанализированы основные результаты исследований ведущих российских и зарубежных ученых касательно структуры NiCrBSi покрытий, их микромеханических и трибологических свойств. Обсуждаются создание

металломатричных композиционных NiCrBSi-TiC покрытий с различным содержанием карбида титана. Отмечены противоречивые сведения о влиянии термического воздействия на характеристики NiCrBSi покрытий. Дан обзор методов поверхностной деформационной обработки покрытий, обсуждена степень разработанности применения методов интенсивного поверхностного пластического деформирования исследуемых наплавленных покрытий. Обоснованы поставленные в диссертационной работе задачи исследования.

**В главе 2** описаны материалы исследования (NiCrBSi покрытия четырех составов, а также с добавлением 5, 15 и 25 массовых % карбида титана) и использованные в ходе выполнения работы современные методы материаловедения и трибологии. Образцы подвергались термическому воздействию, фрикционной обработке по различным режимам, трибологическим испытаниям на абразивное изнашивание и трение скольжения, микромеханическим испытаниям. Для исследования структуры, фазового состава и топологии поверхностей применялись сканирующие электронные микроскопы с микроанализаторами, просвечивающий электронный микроскоп, рентгеновский дифрактометр, оптический профилометр. Многообразие проведенных испытаний и использованных в работе методов исследования производит хорошее впечатление.

**Глава 3** посвящена подробному изучению структуры и свойств NiCrBSi покрытий четырех составов с различным содержанием углерода, хрома и бора. Трибологические характеристики оценены при испытании по трем абразивам различной твердости, а также в условиях трения скольжения в окислительной и безокислительной средах. Представлена оригинальная методика связи результатов кинетического индентирования с реализующимися механизмами изнашивания.

**В 4 главе** проведено сравнение свойств покрытия ПГ-СР2 и покрытий на основе ПГ-СР2 с добавками 5, 15, 25 % карбида титана. Подробное исследование механизмов изнашивания при испытании по трем видам абразивов позволило автору сделать вывод о том, что эффективность повышения износостойкости при формировании композиционных покрытий NiCrBSi-TiC в сильной степени зависит

от твердости абразива. Интересным также представляется установленное более эффективное положительное влияние на абразивную износостойкость NiCrBSi покрытий введения 15-25 % высокопрочных карбидов титана по сравнению с влиянием дополнительного легирования углеродом, хромом и бором, обуславливающим рост средней твердости покрытий.

**В главе 5** изучается теплостойкость покрытия ПГ-10Н-01 в широком интервале температур, обнаружен резкий рост твердости и износостойкости после отжига при повышенных температурах (выше 1000 °С) по сравнению с разупрочнением покрытий после нагрева до температур 900-950 °С. На основании проведенных исследований предложена комбинированная лазерно-термическая обработка, на которую получен патент РФ.

**В 6 главе** изучено влияние фрикционной обработки по различным технологическим режимам, выбран конкретный режим, позволяющий получить одновременно низкую шероховатость, повышенную твердость и износостойкость поверхностного слоя. При этом формируется сильно диспергированный поверхностный слой толщиной 5-7 мкм (при общей толщине упрочненного слоя до 100 мкм), в котором образуется нано- и субмикроструктурная структура.

**В заключении** суммируются основные результаты диссертационной работы.

**Научная новизна и практическая значимость работы.** Предложены режимы термической и фрикционной обработки для повышения износостойкости покрытий, работающих в условиях высоких температур и в прецизионных узлах трения. Определена эффективность введения карбидов титана для повышения износостойкости при воздействии абразивами различной твердости. Получен акт внедрения от ОАО "Уральский научно-исследовательский технологический институт" о важности результатов для совершенствования технологических процессов лазерной обработки и от Уральского федерального университета о включении результатов в дисциплину "Лазерные технологии модифицирования поверхности и прототипирования".

**Достоверность и обоснованность положений и выводов** диссертации обеспечена большим объемом экспериментального материала, применением

взаимодополняющих современных методов исследований. Приведенные в работе результаты исследований, полученные с использованием различных методик, достаточно хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам.

#### **Замечания и вопросы:**

1. Чем обусловлен выбор исследуемых NiCrBSi покрытий (четырёх составов), применительно для деталей каких машин и механизмов рекомендованы эти покрытия, если рассматривается пара трения Ст.3+ПГ-СР – Сталь Х12М?

2. Гл. 4. Почему при формировании композиционных покрытий на основе NiCrBSi упрочняющей фазой выбран TiC? Рассматривались ли другие упрочняющие добавки на основе карбидов, оксидов, нитридов других металлов?

3. Гл. 5. При исследовании теплостойкости покрытия ПГ-10Н-01 применялись температуры до 1050 °С., а в патенте РФ предложен температурный интервал высокотемпературного отжига 1000 – 1075 °С.

4. Гл. 6. Каким образом была организована безокислительная среда при фрикционной обработке?

Заданные вопросы позволяют уточнить область практического применения данных исследований и не затрагивают сути основных выводов и положений, выносимых на защиту диссертационной работы.

#### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Соболевой Н.Н. является законченной научно-квалификационной работой, в которой получены новые и важные экспериментальные результаты. Диссертация написана грамотно, материал достаточно полно и хорошо иллюстрирован.

Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют цели и задачам работы, опубликованы в виде восьми рецензируемых научных статей в изданиях, определенных ВАК РФ, одном патенте, доложены и обсуждены на семнадцати научно-технических конференциях.

## Заключение

Диссертационная работа Соболевой Натальи Николаевны на тему «Повышение износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой» полностью соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842. Считаю, что Н.Н. Соболева заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент

Кандидат технических наук



Ильиных Сергей Анатольевич

Старший научный сотрудник

лаборатории порошковых, композиционных и нано- материалов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт металлургии Уральского отделения РАН,

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101,

тел.: 8(343)232-90-96,

e-mail: [sergil1957@mail.ru](mailto:sergil1957@mail.ru)

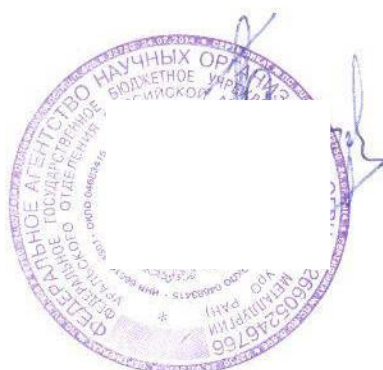
30.11.2016

Подпись Ильиных Сергея Анатольевича заверяю:

Ученый секретарь

ИМЕТ УрО РАН, к.х.н.

30.11.2016



Пономарев В.И.