

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Свиридова Антона Петровича «Разработка порошковых алюмоматричных композиционных материалов для газодетонационного напыления антифрикционных покрытий», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

### **Актуальность диссертационной работы**

В последние годы отмечается существенный научный интерес к материалам и покрытиям на основе систем «металл-углерод». Исследуются процессы фазо- и структурообразования в данных системах для получения материалов с требуемыми механическими свойствами, износостойкостью, а также тепло- и электропроводностью. Как в России, так и за рубежом для создания функциональных слоев и покрытий активно используются методы термического напыления. Особое значение имеют исследования формирования композиционных покрытий. Покрытия с новым комплексом свойств позволяют решить практически важные задачи современного машиностроения. Актуальность темы диссертации А. П. Свиридова продиктована необходимостью создания в России машиностроительной продукции, обладающей надежностью и долговечностью. Одной из возможностей обеспечения данных характеристик является изготовление деталей с антифрикционными покрытиями. Несмотря на имеющийся положительный опыт эксплуатации изделий с покрытиями, полученными методами термического напыления, необходима разработка новых материалов для нанесения покрытий на тяжелонагруженные детали из цветных металлов, в частности на поршни кривошипно-шатунного механизма двигателей внутреннего сгорания. Поэтому исследования, направленные на разработку новых материалов для формирования антифрикционных покрытий тяжелонагруженных деталей, являются актуальными и востребованными на практике. Представленная работа демонстрирует возможность получения покрытий с алюминиевой матрицей и высоким содержанием углеродного компонента детонационным методом при использовании в качестве порошкового сырья механокомпозиатов, полученных высокоэнергетической обработкой смесей компонентов в планетарной шаровой мельнице.

**Цель диссертационной работы** А. П. Свиридова – разработка порошковых композиционных материалов с матрицей из алюминия и включениями углеродных компонентов для формирования антифрикционных покрытий детонационным методом и исследование структуры и свойств полученных покрытий.

## Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 177 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников, включающего 152 наименований, и приложения.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, представлены положения, выносимые на защиту, представлены научная новизна работы и ее практическая значимость. **Первая глава** содержит аналитический обзор литературных данных по теме диссертации. Рассмотрены составы антифрикционных покрытий и способы их получения. Представлены основные требования, предъявляемые к поршням двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены пути повышения работоспособности поршня. На основании литературного обзора сформулированы цель и задачи исследований в рамках диссертационной работы. **Во второй главе** представлены характеристики материалов, использованных в работе, а также описание технологических и аналитических методов и оборудования. Изложены принципы детонационного напыления, представлены характеристики использованной установки. Описан процесс механоактивационной обработки порошковых смесей. Представлено описание методов исследования порошковых смесей и покрытий (оптической микроскопии, растровой электронной микроскопии, рентгенофазового анализа). Представлены методики исследования топографии поверхности и трибологических испытаний. Изложены основы моделирования процесса движения композиционной смеси в двухфазном потоке в процессе детонационного напыления. **В третьей главе** представлены результаты исследований структуры порошковых материалов, полученных методом механической активации. Исследовано образование механокомпозитов в системах «алюминий-сажа» и «алюминий-фуллерен» без введения добавок, а также при введении 1-1,5% карбида бора В<sub>4</sub>С. Определены составы порошковой смеси, обеспечивающие образование механокомпозитов, пригодных по фракционному составу для детонационного напыления покрытий. **Четвертая глава** посвящена моделированию процесса движения частиц в стволе установки напыления методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Workbench. Определены условия достижения частицами температур и скоростей, обеспечивающих формирование покрытий. Представлены результаты структурных исследований сформированных покрытий и переходных зон. Приведены результаты исследования топологии поверхности полученных покрытий. **В пятой главе** представлены результаты исследований антифрикционных свойств и износостойкости детонационных покрытий. Приведены рекомендации по детонационному напылению антифрикционных покрытий для поршней

двигателей внутреннего сгорания. В конце каждой главы приведены выводы. Общие выводы по диссертации сформулированы в *Заключении*. Акт внедрения результатов диссертационной работы представлен в *Приложении*.

### **Научная новизна работы**

В представленной работе впервые исследовано поведение композиционных смесей «алюминий-углерод» при детонационном напылении, впервые исследованы структура и свойства соответствующих покрытий. Впервые определены режимы механической обработки порошковых смесей в планетарной шаровой мельнице для получения композиционных частиц «алюминий-углерод», пригодных для детонационного напыления покрытий; предложено использовать добавку карбида бора к смеси алюминия и углеродного компонента. Новыми являются результаты моделирования процесса ускорения и нагрева композиционных частиц «алюминий-углерод» в двухфазном потоке при детонационном напылении в стволе детонационной установки. Показано, что результаты моделирования позволяют осуществлять целенаправленный выбор размеров композиционных частиц для детонационного напыления покрытий систем «алюминий-углерод».

### **Достоверность экспериментальных данных**

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается большим объемом выполненных исследований с применением современных методов анализа структуры и состава порошковых и компактных материалов. Для обработки результатов использованы стандартные методики. Полученные в работе экспериментальные результаты согласуются с данными других авторов.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

Определены условия механической обработки, позволяющие получить композиционные частицы «алюминий-углерод», пригодные для нанесения покрытий методом детонационного напыления. Показано, что композиционные порошки «алюминий-углерод» могут использоваться для формирования антифрикционных покрытий на алюминиевых сплавах. Методом детонационного напыления получены покрытия, обеспечивающие более высокую износостойкость и пониженный коэффициент трения по сравнению с материалом подложки АК21М2,5Н2,5. Результаты диссертационной работы прошли апробацию и используются на АО «Барнаултрансмаш». Разработанные покрытия были нанесены на юбку поршня транспортного средства «Polaris». Применение поршней двигателей внутреннего сгорания с детонационными антифрикционными покрытиями позволит снизить потери, обусловленные износом. Полученные результаты представляют научную ценность для материаловедения

антифрикционных покрытий и развития практических приложений метода детонационного напыления.

По диссертации и автореферату возникает ряд **вопросов и замечаний**:

1. В диссертации отсутствует четкое объяснение причин выбора составов порошковых композитов.
2. В литературном обзоре не отражены исследования в области детонационного напыления, проведенные в последние годы коллективом авторов из Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН. Данным коллективом проведен ряд работ по напылению композиционных порошков, полученных механической обработкой компонентов в высокоэнергетических мельницах. Ознакомление с результатами данных работ помогло бы автору диссертации сделать более глубоким литературный обзор и критически оценить собственные результаты в свете уже имеющихся литературных данных.
3. При формулировке научной новизны автор указывает время механической обработки порошков. Но это время определено для мельницы определенной модели и определенного режима работы мельницы. Следовало бы сформулировать научную новизну работы с более общих позиций.
4. В п. 3 «Научной новизны» говорится об изменении морфологии подложки, приводящем к улучшению трибологического поведения изделия. Какова роль самого покрытия и измененной структуры подложки?
5. Автор работы использует термины «рентгеноаморфное состояние» и «аморфное состояние» как синонимы. Но в действительности данные состояния различаются. Рентгеноаморфное состояние не является истинно аморфным.
6. В диссертации не приведены рентгенограммы исходных углеродных материалов, использованных в работе, что затрудняет восприятие информации о структурных изменениях, происходящих при формировании покрытий. Структура углеродного компонента в детонационных покрытиях требует более тщательного изучения (с помощью просвечивающей электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния).
7. В диссертации и автореферате автор обсуждает карбидообразование и приводит примеры карбидообразующих элементов. Сформулированное предложение содержит стилистическую ошибку (по-видимому, по причине опечатки).
8. В описании рисунков следовало бы указать, при каком соотношении кислорода и горючего газа проводилось детонационное напыление образцов, структура и свойства которых анализируются.

9. Из обозначений составов композиционных смесей, введенных автором, не ясно, в каких композитах использовали только фуллерен, а в каких смесь фуллерена и наноалмазов. Не ясен термин «порошкообразная суспензия» (стр. 7 автореферата, стр. 65 диссертации). Какую роль играют наноалмазы в процессах образования механокомпозитов и покрытий?

10. Известно, что расплавленный алюминий реагирует с углеродными материалами. Наблюдали ли в работе образование карбида алюминия  $Al_4C_3$ ? Автор утверждает, что «углерод восстанавливает свою структуру» в напыленном покрытии. О какой структуре идет речь? Какие факторы способствуют предполагаемому процессу?

11. Автор утверждает, что для детонационных покрытий характерным является сохранение фазового состава порошка в напыленных покрытиях. При этом автор не учитывает возможность протекания химических реакций при детонационном напылении. Реакционные процессы, происходящие в материалах при детонационном напылении, исследованы в ряде работ. Так, в работах С. Шендеровского (С. Senderowski) исследованы реакционные процессы, происходящие при детонационном напылении алюминида железа. В работах В. Ю. Ульяницкого и Д. В. Дудиной детально исследовано реакционное поведение ряда материалов, в том числе металлических никеля и титана, а также металлокерамических композитов при детонационном напылении.

12. В Выводе 2 автор говорит о «наиболее рациональных параметрах, которые описываются в литературных источниках». Следовало бы конкретизировать, что подразумевается под «рациональными параметрами».

13. В работе не приводятся данные о прочности сцепления полученных покрытий с подложкой.

14. Чем обусловлена зависимость структуры слоя подложки, прилегающего к покрытию, от состава напыляемого покрытия (структуры углеродного компонента)?

15. Формулировки общих выводов по работе следовало бы сделать более сжатыми, исключив из них перечисление полученных результатов.

16. Глава 3 диссертации начинается со страницы 77, в то время как в «Содержании» указана страница 76.

### **Общая оценка работы**

Цель работы и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы. Текст автореферата отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют цели и задачам диссертационной работы. Результаты работы изложены в 16 публикациях (из них 4 статьи опубликованы в журналах, включенных в Перечень ВАК РФ, одна статья опубликована в

зарубежном издании, индексируемом в Scopus). По объему проведенной работы, актуальности тематики, научной новизне и практической значимости результатов можно считать, что диссертационная работа «Разработка порошковых алюмоматричных композиционных материалов для газодетонационного напыления антифрикционных покрытий» удовлетворяет критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. (редакция от 28 августа 2017 г.). Диссертация Свиридова Антона Петровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой получены новые результаты в области разработки алюмоматричных композиционных материалов и антифрикционных покрытий на их основе. Результатом работы являются научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для технологии композиционных покрытий и антифрикционных материалов. Свиридов Антон Петрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Официальный оппонент

Дудина Дина Владимировна

заведующий лабораторией детонационных течений,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН),  
доктор технических наук (05.16.09 – Материаловедение в машиностроении)  
Почтовый адрес: 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 15;  
тел. (383) 333-00-03; факс (383) 333-16-12;  
официальный сайт организации: [www.hydro.nsc.ru](http://www.hydro.nsc.ru); e-mail: [ddudina@hydro.nsc.ru](mailto:ddudina@hydro.nsc.ru)

Подпись Дудиной Д. В. удостоверяю

Ученый секретарь Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,  
кандидат физико-математических наук



Любашевская Ирина Васильевна

28.08.2018