

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

на диссертационную работу Верхорубова Вадима Сергеевича  
«Влияние плазменного оплавления на износостойкость металлизационных  
покрытий системы Fe-C-Cr-Ti-Al», представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности  
05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии»

### **Объем и структура работы**

На отзыв представлены: диссертация, состоящая из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, заключения и 4 приложений, и включающая 122 страницы печатного текста, 46 рисунков, 19 таблиц, библиографический список из 112 наименований, а также автореферат объемом 22 страницы, изданного на правах рукописи.

Диссертационная работа Верхорубова В.С. посвящена разработке нового технологического процесса, обеспечивающего повышение длительности эксплуатации деталей машин, работающих в условиях абразивного износа.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулирована ее цель и основные задачи.

Первая глава является обзорной. В ней проведен анализ основных видов износа и методов создания защитных покрытий. Выбран материал для нанесения покрытий и метод его последующей обработки.

Вторая глава посвящена решению задачи распространения температурных полей в системе «неоднородное покрытие – сплошное тело» при плазменном источнике нагрева. Здесь автор рассматривает вопросы влияния параметров режима плазменной обработки на геометрию оплавленной зоны, проводит расчеты теплофизических характеристик покрытия, рассматривает изменения фазовых превращений и морфологии структурных составляющих в результате оплавления покрытий.

Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований структуры, физико-механических и служебных свойств покрытий. Показано,

что образование плотной структуры мелкодисперсного мартенсита с карбидным упрочнением и равномерное распределение легирующих элементов при оплавлении покрытия системы Fe-C-Cr-Ti-Al приводит к повышению его микротвердости в 1,5 раза в сравнении с металлизационным покрытием до оплавления, имеющим неоднородную структуру мартенсита. Пониженная микротвердость наплавленных слоев обуславливается образованием ячеистой ферритно-мартенситной структуры, образовавшейся за счет обеднения углеродом металлической матрицы, при образовании большого количества карбидных фаз. Установлено, что износостойкость оплавленных плазмой покрытий Fe-C-Cr-Ti-Al в 2,5 раза выше, чем у металлизационных покрытий до оплавления и в 1,4 раза выше износостойкости слоя, выполненного аргонодуговой наплавкой той же порошковой проволокой. Показано, что значительные потери массы образцов с металлизационным покрытием после испытаний связаны со смешанным механизмом износа, сочетающим царапание и отслоение участков покрытия с низкой когезионной прочностью при попадании абразивных частиц в пограничные слои и поры покрытия. Пониженная износостойкость наплавленного металла объясняется образованием ферритно-мартенситной структуры, обладающей более низкой твердостью в сравнении с мартенситной структурой оплавленного покрытия.

В четвертой главе приводятся результаты практического использования разработанной технологии для упрочнения лемеха плуга. По результатам эксплуатационных испытаний установлено, что ресурс упрочненных по разработанной технологии лемехов при обработке суглинистых почв на 34 % выше в сравнении с серийным лемехом из стали 65Г после объемной закалки.

### **Актуальность работы**

Известно, что износ рабочих поверхностей оборудования различного назначения является наиболее распространенной причиной выхода его из строя.

Для повышения износостойкости широко применяются защитные покрытия, нанесенные методами газотермического напыления. Однако в условиях контакта с абразивными частицами, наличие в структуре напыленного покрытия пористости и оксидных прослоек обуславливают снижение его

износостойкости в сравнении с наплавленным металлом.

С целью улучшения свойств напыленных покрытий их подвергают различным методам последующей обработки оплавлением. В данной работе в качестве высококонцентрированного источника нагрева предлагается использование сжатой (плазменной) дуги. Поэтому актуальность диссертационной работы Верхорубова В.С., направленной на повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин, не вызывает сомнений.

### **Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

Наиболее существенными новыми результатами исследований, проведенных лично соискателем, являются следующие:

- модель распространения тепла от плазменного источника нагрева в двухслойной композиции «металлическое покрытие – основа»;
- зависимости влияния химического состава и пористости покрытий на их теплофизические свойства;
- зависимости геометрических размеров зоны оплавления от параметров режима плазменной обработки;
- обнаружение основных характерных зон в покрытии и характеристика их структуры;
- зависимости химического состава покрытий от плазменной обработки;
- зависимости микротвердости покрытий от структуры металлической матрицы;
- описание механизма износа покрытия.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертации подтверждается применением современных методов исследования. Расчеты, выполненные по разработанной автором модели, подтверждены экспериментальными данными, полученными по верифицированным методикам, и обладают достаточной точностью для оценки области рациональных параметров режима плазменной обработки. Результаты лабораторных исследований полученных покрытий подтверждены в ходе натурных испытаний.

Материалы диссертации широко и полно апробированы на научных конференциях различного уровня и опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Значимость для науки полученных результатов заключается в пополнении знаний об особенностях формирования структуры в процессе плазменной обработки, ее изменения в ходе абразивного изнашивания. Эти результаты будут полезны при разработке технологических процессов получения покрытий различного назначения.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Автором разработана модель распределения температурных полей в двухслойном материале «металлизационное покрытие – основа», позволяющая произвести анализ влияния свойств напыленного покрытия на его теплофизические характеристики и подобрать необходимые режимы плазменной обработки.

Установлено, что плазменное оплавление приводит к значительному изменению структуры металлизационного покрытия системы Fe-C-Cr-Ti-Al и повышению физико-механических характеристик.

На основе результатов проведенных исследований разработана технология плазменного оплавления металлизационных покрытий, обеспечивающая повышение износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин. На основе промышленных испытаний обоснована возможность и перспективность применения оплавленных покрытий системы Fe-C-Cr-Ti-Al для повышения ресурса работы механизмов плуга.

Но диссертационной работе Верхорунова Вадима Сергеевича имеются следующие замечания:

1. Не понятно, в чем заключаются закономерности, о которых говорится в решенных задачах на стр. 4 автореферата.
2. Не понятно, зачем выбрана в качестве базовой проволока 80X22T2Ю2 если после оплавления в покрытии остается только 8,91 % хрома, а другие легирующие элементы отсутствуют. Вряд ли можно назвать проволоку ННМ-8 экономнолегированной поскольку в ней содержится 22 % хрома.

3. Не понятно, о чем говорят кривые графиков рис. 2.7 стр. 49 диссертации поскольку на рис. 2.6 стр. 48 и в табл. 2.6 стр. 52 используются другие значения погонной энергии и глубины проплавления.
4. Из рис. 2.8 стр. 51 диссертации не следует, что в табл. 2.6 стр. 52 выбраны рациональные режимы плазменной обработки, поскольку при этих значениях коэффициент формы проплавления не максимальный.
5. Не понятно, при каких параметрах режима плазменной обработки получены зависимости на рис. 2.11 стр. 55 диссертации.
6. Не понятно утверждение о том, что трещиностойкость покрытия из ННМ-8 выше, чем у покрытий из НПМ-6 поскольку этот вопрос в работе не изучался.
7. Не описано как осуществлялась аргонодуговая наплавка плавящимся электродом или неплавящимся с подачей присадочной проволоки поскольку формирование наплавленного металла и глубина проплавления будет различаться.
8. На стр. 83 диссертации приведены потери массы образцов в граммах, а идет ссылка на рис. 3.22, где износостойкость в размах.
9. Источник № 90 из списка литературы по тексту диссертации не используется.
10. Но тексту автореферата и диссертации имеются опечатки и ошибки, например:
  - Gr в мм – на рис. 2в на стр. 10 Автореферата и рис. 2.8в на стр. 51 Диссертации;
  - Несоответствие единиц измерения погонной энергии в рис. 1 на стр. 10 и табл. 2 на стр. 11 автореферата;
  - В табл. 2.1 на стр. 45 Диссертации концентрация Cr указана 0,8 % вместо 8 %.

### **Заключение**

Данная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой представлены новые научно обоснованные решения, направленные на повышение абразивной износостойкости металлизационных покрытий системы Fe-C-Cr-Ti-Al.

Научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и положения работы достоверны и

обоснованы. Диссертация по ее цели, задачам, содержанию соответствует паспорту специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

Автореферат и опубликованные по диссертации статьи достаточно полно отражают представленные в работе положения.

Считаю, что представленная к защите диссертация по актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов в полной мере соответствует требованиям п. 9 Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Верхорубов Вадим Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии».

Официальный оппонент,

заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение»

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

д.т.н., проф.

Еремин Евгений Николаевич

Подпись Еремина Е.Н. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ОмГТУ

д.т.н., проф.

Бубнов Алексей Владимирович

14.01.2016 г.

644050, Российская Федерация, г. Омск, пр-т Мира, д. 11

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Тел.: +7 (3812) 65-27-19; Факс: +7 (3812) 65-26-98

E-mail: weld\_techn@mail.ru

http://omgtu.ru