

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Зимоглядовой Татьяны Алексеевны
«Повышение износостойкости стали с использованием технологии
вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси
самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

1. Актуальность темы диссертации

Вопросам повышения стойкости деталей машин и рабочих органов строительной, горнодобывающей, сельскохозяйственной и других видов техники и оборудования, работающих в условиях абразивного изнашивания и воздействия повышенных температур, посвящен значительный объем научных исследований. Разработка новых типов поверхностно-упрочненных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками является одной из актуальных задач, решаемых многими научными и производственными коллективами.

Самофлюсующиеся порошковые материалы на никелевой основе (NiCrBSi-сплавы) нашли широкое применение в качестве материалов для формирования защитных слоев на рабочих поверхностях деталей, работающих в парах трения, абразивного изнашивания, в условиях воздействия повышенных температур и агрессивных сред. Указанные материалы характеризуются высокой технологичностью. Актуальной научной и прикладной задачей является повышения их эксплуатационных свойств, что возможно реализовать введением в состав порошков при наплавке дополнительных легирующих элементов и/или соединений, характеризующихся высокой твердостью и износостойкостью (например, карбидов или боридов переходных металлов).

Эффективный подход к решению указанной выше задачи основан на формировании защитных слоев на поверхности обрабатываемой детали с использованием высококонцентрированных источников энергии (лазерная, плазменная наплавка и др.). Среди высокоэнергетических методов наплавка электронными пучками, выпущенными в атмосферу, отличается высокой производительностью, а также возможностью обработки крупногабаритных деталей. Следует отметить, что возможности указанного метода для получения высокопрочных поверхностных слоев изучены недостаточно. В литературе отсутствуют комплексные данные о влиянии режимов электронно-лучевой обработки на структуру и эксплуатационные свойства поверхностно упрочненных слоев.

В связи с этим, направление исследований диссертационной работы, связанное с повышением износостойкости и стойкости к окислению сталей за счет формирования функциональных защитных слоев на ее поверхности, с использованием технологии наплавки электронным лучом, выведенным в воздушную атмосферу, является *актуальным*.

2. Общая характеристика работы

Во введении отражены актуальность, новизна и значимость диссертационной работы с научной и практической точек зрения, сформулированы положения, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора, приведены цель и задачи диссертационного исследования.

В первом разделе диссертации представлен обзор научно-технической литературы по способам формирования защитных слоев с использованием самофлюсующихся NiCrBSi-сплавов, в том числе упрочненных дополнительными соединениями. Особое внимание уделено вопросам, касающимся возможности формирования защитных слоев при высокоэнергетическом воздействии. Проведенный анализ позволил Зимоглядовой Т.А. конкретизировать и обосновать направление диссертационного исследования.

Во втором разделе описаны материалы, использованные для проведения экспериментальных работ, технологические режимы формирования упрочненных слоев на стальных заготовках, а также методы исследования поверхностно-упрочненных материалов, сформированных с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Формирование поверхностно легированных слоев на стальных заготовках осуществлялось с применением отечественного оборудования, разработанного сотрудниками Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

Наплавочные смеси состояли из промышленного самофлюсующегося сплава марки ПР-Н77Х15С3Р2 на никелевой основе с добавлением ниобия и аморфного бора. В качестве материала подложки использовали низкоуглеродистую сталь 20.

Выбор методов анализа структуры и свойств осуществляли *в соответствии* с поставленной целью и задачами диссертационного исследования. Для анализа структуры полученных материалов применялись современные методы исследований (оптическая, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеновская томография). Выбранные методики позволяют на различных масштабных уровнях изучить структурно-фазовые преобразования, происходящие в материале при электронно-лучевой обработке. Для оценки влияния высокоэнергетического воздействия на свойства исследуемых материалов в работе были проведены дюрOMETрические измерения, испытания на ударный изгиб,

триботехнические испытания в различных условиях изнашивания, а также испытания на стойкость к окислению.

В третьем разделе диссертации Т.А. Зимоглядова обосновала выбор рациональных технологических параметров вневакуумной электронно-лучевой наплавки, обеспечивающих формирование качественных равномерных по толщине упрочняющих поверхностных слоев на стальных заготовках, характеризующихся минимальной степенью разбавления основным металлом. Выбор режимов осуществлялся на основании результатов исследований модельных материалов с поверхностным слоем из самофлюсующегося NiCrBSi-сплава без легирующих добавок.

Зимоглядовой Т.А. были выбраны параметры (ток пучка, скорость перемещения заготовки и количество проходов), обеспечивающие формирование покрытий с повышенной микротвердостью, отсутствием трещин, крупных пор, нерасплавленных частиц порошка. Также в данной главе изучен фазовый состав наплавленных слоев и определена объемная доля матричной фазы (γ -твердого раствора на основе Ni и Fe) в зависимости от параметров вневакуумной электронно-лучевой обработки.

Четвертый раздел диссертации посвящен исследованию структурно-фазовых преобразований, происходящих при наплавке самофлюсующегося NiCrBSi-сплава, ниобия и бора, взятых в различных весовых соотношениях. В данном разделе отражены результаты микроструктурных исследований, выполненных на различных масштабных уровнях. Данные, полученные с использованием методов 3D-сканирования, свидетельствуют об отсутствии в упрочняющих слоях видимых дефектов. Структурный анализ поперечного сечения наплавленного слоя позволил выделить пять зон, различающихся по своему строению. Плотное скопление упрочняющих частиц различной морфологии обнаружено автором в верхней части покрытия.

Зимоглядовой Т.А. было проанализировано влияние доли порошков ниобия и бора в наплавочной смеси на особенности строения и фазовый состав наплавленных слоев. Отмечается, что в матричном материале наплавленного слоя выделяются упрочняющие частицы бориды железа, карбида хрома, легированного карбида хрома, карбида ниобия. Диборид ниобия NbB₂ зафиксирован в слоях, сформированных при наплавке порошковых композиций, содержащих от 15 до 40 вес. % смеси ниобия в сочетании с бором. Зимоглядовой Т.А. установлено, что при формировании электронно-лучевой обработкой упрочненных слоев из NiCrBSi-сплава, ниобия и бора, доля смеси «Nb-B» в которых варьируется от 30 до 40 вес. %, в структуре образуются двухфазные включения типа «ядро-оболочка», центральная часть которых представляет собой карбид ниобия NbC, а по внешнему краю выделяется диборид ниобия NbB₂. Анализ тонкого строения поверхностных слоев методом просвечивающей электронной микроскопии позволил обнаружить, что в матричной фазе, представляющей собой γ -твердый раствор на основе Ni, Fe, развиваются процессы упорядочения.

В пятом разделе диссертационной работы автором оценивались механические и эксплуатационные свойства поверхностно-упрочненных материалов. Используя стандартные методики, Зимоглядова Т.А. установила, что наиболее высоким уровнем твердости и износостойкости в условиях абразивного воздействия характеризуются наплавленные слои, содержащие самофлюсующийся NiCrBSi-сплав и 35 вес. % смеси «Nb-B». Стойкость полученного материала в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных абразивных частиц в 2 и 3,4 раза соответственно превышает показатели контрольного образца, полученного по технологии плазменного напыления NiCrBSi-сплава с последующим оплавлением в печной камере. На примере полученных в процессе наплавки композиций, диссертантом показано, что с увеличением толщины наплавленного слоя наблюдается снижение уровня ударной вязкости поверхностно-упрочненных материалов. В условиях динамического нагружения наплавленные слои характеризуются хрупким типом разрушения. Однако при этом наплавленные слои обладают относительно высоким уровнем жаростойкости.

Шестой раздел диссертации содержит материалы, отражающие практическую ценность проведенных в работе исследований. На примере литейной пресс-формы показана возможность повышения износостойкости и стойкости к окислению более чем в 2 раза по сравнению с изделиями, обработанными по стандартной технологии, заключающейся в закалке с последующим низким отпуском. Кроме того, результаты исследований, полученные при выполнении диссертации, используются в Новосибирском государственном техническом университете в учебном процессе.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе.

Список литературы достаточно полно отражает состояние исследований в области поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов и вклад автора работы в их развитие.

3. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа, изложенная на 189 страницах, состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованной литературы из 165 наименований, 4 приложений. Работа содержит 64 рисунка и 8 таблиц.

Анализируя текст диссертации, автореферата и сопоставляя их с работами соискателя, опубликованными по теме диссертации, можно заключить, что **общие выводы и положения, сформулированные диссертантом, правомерны, логичны, достоверны и вытекают из полученных экспериментальных данных.** Все основные результаты, отраженные в диссертации, опубликованы автором в периодической (рецензируемой) печати и материалах конференций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

4. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе Зимоглядова Т.А. впервые использовала вневакуумную электронно-лучевую наплавку для синтеза упрочняющей фазы заданного состава (NbB_2) непосредственно в процессе формирования износостойких слоев, содержащих самофлюсующийся NiCrBSi-сплав, ниобий и бор в различных соотношениях в качестве исходных компонентов.

Автором установлено, что при наплавке NiCrBSi-сплава и 30-40 вес. %, смеси «Nb-B» в структуре поверхностных слоев образуются двухфазные включения типа «ядро-оболочка». Центральная часть (представляющая собой карбид ниобия NbC) сложных двухфазных частиц характеризуется дендритной морфологией. Диборид ниобия NbB_2 выделяется по внешнему краю карбида ниобия в виде оболочки.

Анализ тонкого строения поверхностных слоев позволил установить, что в матричной γ -фазе (Ni, Fe) происходит упорядочение по типу CuAuI. Такой тип упорядочения реализуется при соотношении никеля и железа, близком к эквиаtomному.

Показана возможность получения на заготовках из низкоуглеродистой стали наплавленного слоя толщиной более 1 мм, уровень износостойкости которого более чем в 2 раза выше аналогичного показателя для материала с покрытием, сформированным по технологии плазменного напыления с оплавлением в печи.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечивается комплексным подходом к получению и обработке экспериментальных данных, использованию современного аналитического оборудования и надежных методик проведения экспериментов.

5. Значимость результатов диссертации для науки и практики

В диссертационной работе Т.А. Зимоглядова изучила особенности структурно-фазовых преобразований, протекающих в поверхностных слоях низкоуглеродистых сталей в процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей самофлюсующегося NiCrBSi-сплава, ниобия и бора, которые обеспечивают высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы при выборе новых типов наплавляемых смесей и разработке технологических процессов поверхностного упрочнения других углеродистых и низколегированных сталей.

В научном плане диссертационная работа расширяет представления об образовании структурных составляющих наплавленных слоев в зависимости от параметров обработки и химического состава используемых порошковых композиций.

Рекомендации по формированию функциональных защитных слоев на стальных заготовках методом наплавки электронными пучками, выпущенными в воздушную атмосферу самофлюсующегося NiCrBSi-сплава в сочетании с порошками ниобия и бора, представленные автором диссертационной работы, полезны *в практическом плане*. Состав порошковой композиции, содержащей самофлюсующийся NiCrBSi-сплав в сочетании с 35 вес. % смеси порошков ниобия и бора, обеспечивает увеличение износостойкости в условиях абразивного изнашивания более чем в 2 раза.

Эффективность полученных результатов подтверждена актами промышленных испытаний в ООО «Центр технологий литья», а также актами использования результатов работы в учебном процессе механико-технологического факультета Новосибирского государственного технического университета при чтении лекционных курсов и проведении лабораторных работ. По результатам исследований опубликовано 33 печатные работы, из них 8 статей – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ; 25 – в сборниках трудов международных и Всероссийских научно-технических конференций.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В главе 3 и 4 сообщается о наличии в структуре наплавленных покрытий эвтектических колоний, при этом доля эвтектической составляющей значительна (около 45% при наплавке порошка системы Ni-Cr-Si-B с использованием режима, выбранного в качестве базового и использованного для наплавки сложных порошковых композиций). Однако в работе не приведены сведения о составе этих структур.

2. Глава 3 называется «Строение и свойства поверхностных слоев...», при этом в качестве свойств приводятся только данные микротвердости. На основании указанных результатов сделан вывод 2 по главе 3 об уровне «эксплуатационных характеристик полученных материалов», однако твердость не является эксплуатационной характеристикой.

3. Испытания на абразивное изнашивание показали нелинейную зависимость износостойкости от доли ниобия и бора в наплавляемом порошке: свойства покрытия с 30%(Nb-B) близки к соответствующим характеристикам покрытия с 15%(Nb-B), однако значительно ниже свойств покрытия, содержащего 35%(Nb-B). В работе недостает объяснения этого интересного явления.

4. В главе 5 и выводах по работе отмечается, что «наибольшее влияние на показатели ударной вязкости оказывает не доля упрочняющих соединений в объеме наплавленных слоев, а толщина наплавленных слоев и переходных зон». Таким образом, разная толщина покрытий не позволила получить данные о влиянии доля ниобия и бора на величину работы разрушения.

Предпочтительнее было бы провести данный эксперимент на покрытиях одинаковой толщины, например, после шлифовки их поверхностного слоя.

5. В работе в большинстве случаев значения микротвердости приведены в ГПа. Однако по ГОСТ 9450-76, на который ссылается автор, и по ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007, значения микротвердости, измеренные алмазным наконечником в форме правильной четырехгранной пирамиды (по Виккерсу), следует записывать в единицах HV.

6. В работе встречаются отдельные неточности: на стр. 43 текст не соответствует приведенным ссылкам на литературу [72-78]; на стр. 45 текст не соответствует приведенным ссылкам на литературу [81-83]; не все литературные ссылки приведены по порядку употребления; на стр. 53 приведена ссылка на рисунок 2.1 б вместо 2.1 в; в разделе «Научная новизна» содержатся опечатки при указании твердости (очевидно, 1500 HV и 3000 HV, а не 15000 и 30000, соответственно); в главах 2 и 5 нет размерности величины Ra; на рисунках 5.15, 5.17 не показаны размеры анализируемых участков; в автореферате отсутствуют ссылки на рисунки 4 в и 4 г.

Отмеченные отдельные замечания не изменяют безусловно положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности.

Общее заключение по работе

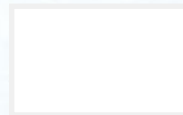
По объему, актуальности исследований, новизне результатов, их достоверности, научной и практической значимости, представленная к защите диссертация Т.А. Зимоглядовой, является законченной научно-квалификационной работой и полностью соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842). Содержание диссертационной работы соответствует п. 1. «Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий» и п. 10. «Разработка покрытий различного назначения (упрочняющих, износостойких и других) и методов управления их качеством» паспорта специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

Диссертационная работа содержит новые научно обоснованные технические и технологические решения вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей, содержащих самофлюсующийся никелевый сплав, ниобий и бор с целью получения слоев, обладающих высоким уровнем твердости, износостойкости и стойкости к окислению, имеющие существенное значение для развития страны. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, обоснованы и достоверны. Материал диссертационной работы Т.А. Зимоглядовой четко изложен

и хорошо иллюстрирован. Автореферат диссертации полностью *соответствует* ее содержанию и отражает полученные научные результаты. Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, а также сборниках трудов конференций.

Считаю, что Зимоглядова Татьяна Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент,
научный сотрудник
лаборатории конструкционного
материаловедения,
кандидат технических наук



Соболева Наталья Николаевна

02.12.2019

Контактная информация:

Организация. Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук. **Сокращенное наименование:** ИМАШ УрО РАН.

Адрес: 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Телефон: +7 (343) 362-30-33

E-mail: natashasoboleva@list.ru

Должность: научный сотрудник лаборатории конструкционного материаловедения



Ф.И.О.: Соболева Наталья Николаевна.

Подпись Соболевой Натальи Николаевны заверяю:

Ученый секретарь ИМАШ
к.т.н.
02.12.2019



А.М. Поволоцкая

Получено в целом 04.12.2019  А.М. Поволоцкая
С опущением ознакомлена 05.12.2019  Зимоглядова Т.А.