

ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертационной работы

Длительность безаварийной эксплуатации и надежность оборудования, работающего в условиях абразивного изнашивания, воздействия повышенных температур и агрессивных сред относятся к его основным технико-экономическим показателям. Самофлюсующиеся сплавы системы Ni-Cr-Si-B получили широкое распространение в качестве наплавочных материалов на рабочие поверхности деталей металлургического, горно- и нефтедобывающего, энергетического оборудования. Однако малое количество работ связано с изучением влияния электронно-лучевой наплавки самофлюсующихся сплавов на структуру и комплекс свойств полученных материалов. **Тема диссертации актуальна**, так как получение знания о закономерностях формирования структуры покрытий с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором является материаловедческой задачей, направленной на оптимизацию режимов наплавки, повышении их триботехнических свойств. **Актуальность темы диссертационного исследования** также подтверждается ее включением в проект ФЦП «Разработка и создание линейки промышленного роботизированного оборудования на основе мультипучковой электронно-лучевой технологии для высокопроизводительного аддитивного производства крупноразмерных металлических и полиметаллических деталей, узлов и конструкций для ключевых отраслей РФ»; финансовой поддержкой государства в лице Минобрнауки России; программами НИОКР НГТУ, а также проектом РФФИ «Выявление закономерностей влияния многократного воздействия релятивистских пучков электронов на структуру, твердость и износостойкость материалов с покрытиями, упрочненными керамическими частицами тугоплавких металлов».

Содержание и структура диссертационной работы

Во введении: обоснована актуальность темы диссертационной работы и степень ее разработанности; сформулированы цель и задачи работы; представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы; отмечен системный подход и комплексность как методологическая основа исследований; изложены положения, выносимые на защиту; приводятся сведения о публикациях и апробации основных результатов диссертационной работы; отмечен личный вклад автора в получении результатов исследования; приведены сведения о структуре и объеме диссертации.

Первый раздел диссертации посвящен обзору научно-технической литературы по методам наплавки и наплавляемым материалам. В разделе обосновано использование самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-Si-B в каче-

стве исходного материала для формирования износостойких покрытий. Особое внимание уделено методам и технологиям формирования покрытий на основе самофлюсующихся сплавов, классификации, структурно-фазового состава и свойств самофлюсующихся сплавов. На основе проведенного анализа сформулированы выводы по использованию самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-Si-B в качестве исходного материала для формирования износостойких покрытий.

Второй раздел посвящен выбору материалов, наплавочного оборудования и методов проведения исследований. Приведено описание исходных материалов, обоснован выбор режимов вневакуумной электронно-лучевой наплавки (ВЭЛН), описаны методики оценки структуры и свойств полученных материалов. В качестве основного материала в работе была использована низкоуглеродистая сталь 20. Базовым материалом для формирования износостойких защитных слоев являлся промышленный самофлюсующийся сплав ПН77Х15СЗР2 (ПН77) на никелевой основе производства ПАО «Тулачермет». Дополнительно в порошковую смесь вводили ниобий и аморфный бор марки А. Доля порошковой насыпки ($Nb - B$) варьировалась в диапазоне от 5 до 40 %. Энергия пучка электронов составляла 1,4 МэВ. Для оценки технологических параметров ВЭЛН были проведены две серии предварительных экспериментов. В первой серии варьируемым параметром была скорость перемещения заготовки под пучком электронов, во второй – сила тока пучка. Для получения наплавленных слоев с минимальной степенью разбавления основным металлом была проведена дополнительная серия экспериментов по наплавке двух- и трехслойных образцов.

Исследования структуры поверхностно-упрочненных слоев проводили на различных масштабных уровнях с применением методов световой микроскопии, растровой и просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа. Для оценки триботехнических свойств полученных в работе материалов были использованы методы определения стойкости в условиях воздействия закрепленных и нежестко закрепленных абразивных частиц, а также в условиях сухого трения скольжения.

В третьем разделе диссертационной работы обоснован выбор рациональных технологических параметров вневакуумной электронно-лучевой наплавки, обеспечивающих условия для формирования равномерных по толщине упрочненных слоев ($\sim 4,5$ ГПа) с минимальной степенью разбавления основным металлом. В качестве базовых технологических параметров были приняты значения $I = 25$ мА, $V = 15$ мм/с. Методом рентгенофазового анализа установлено, что основной структурной составляющей наплавленных слоев является γ -твердый раствор на основе Ni и Fe. В структуре материалов зафиксировано наличие боридов железа Fe_2B и хрома CrB .

Четвертый раздел работы посвящен исследованию структурно-фазовых изменений, происходящих в процессе наплавки релятивистским электронным пучком порошковых смесей самофлюсующегося никелевого сплава, ниобия и бора на заготовки из стали 20. Основными фазами, присутствующими

в покрытиях, являются γ -твердый раствор на основе никеля и железа, карбид ниобия NbC , борид железа Fe_2B и карбид хрома Cr_23C_6 . Диборид ниобия NbB_2 формируется при содержании в наплавочном материале более 15 % смеси порошков ($Nb - B$). Толщина наплавленных слоев составляет 1100–1500 мкм.

В материалах, содержащих 30 и более вес. % ниобия и бора обнаружены сложные по строению частицы: зона ядра и окружающая его оболочка ($NbC + NbB_2$). Диборид ниобия формируется в форме оболочки вокруг частиц NbC .

В пятом разделе представлены результаты оценки комплекса механических и функциональных свойств материалов, сформированных наплавкой смеси самофлюсующегося никелевого сплава, ниобия и бора. Автор работы на основе оценки микротвердости наплавленных слоев обосновывает, что повышение доли ниобия и бора в наплавочной смеси до 15 вес. % приводит к увеличению уровня HV до ~ 6 ГПа. Максимальная степень упрочнения (~ 9 ГПа) достигнута на образцах «ПН77 + 35 % ($Nb - B$)». При этом их ударная вязкость снижается, а абразивная износостойкость растет в 2 и 3,4 раза выше по сравнению с промышленным покрытием, сформированным по технологии плазменного напыления Ni-Cr-Si-B-сплава.

В шестом разделе предложены пути практического использования результатов, полученных в диссертационной работе. На примере пресс-формы (сталь 40ХФА) показана возможность более чем двукратного повышения износостойкости по сравнению с изделиями, упрочненными по стандартной технологии, включающей закалку и низкий отпуск. Упрочнение стрелочных лап культиваторной сеялки (сталь 40Х) методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки увеличило стойкость их к изнашиванию в 1,9 раз выше по сравнению со стандартной технологией, включающей операцию поверхностной закалки токами высокой частоты. Результаты проведенных исследований используются в учебном процессе в Новосибирском государственном техническом университете при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Материаловедение и технологии новых материалов» и «Наноинженерия».

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе. Список литературы достаточно полно отражает состояние исследований в области поверхностного упрочнения железистых сплавов и вклад автора работы в их развитие.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения научной новизны, сформулированные автором диссертации, являются важными для научных работников и инженеров, выполняющих исследования в области упрочнения стальных изделий композиционными покрытиями, полученными методами наплавки с использованием источников энергии высокой концентрации.

Полученные зависимости характеристик микроструктуры покрытий от технологических параметров вневакуумной электронно-лучевой наплавки (скорость перемещения заготовки относительно электронного луча, ток пуч-

ка и количество наплавляемых слоев) позволяют анализировать закономерности формирования структуры покрытия.

Диссертантом установлено, что одним из основных структурных факторов, обеспечивающих высокий уровень твердости поверхностно-упрочненных материалов, полученных при наплавке смеси самофлюсующегося сплава ниобия и бора, является образование композиционных включений типа « $NbC - NbB_2$ », размером до 20 мкм. Ядром включения является карбид ниобия NbC дендритной морфологии, диборид ниобия выделяется по внешнему краю карбида NbC в виде полиэдрической оболочки.

Важным научным результатом является установление основных упрочняющих фаз, присутствующих в материалах, полученных наплавкой порошковых смесей ($Ni-Cr-B-Si$ -сплав – $Nb - B$): карбид хрома $Cr_{23}C_6$, сложный карбид $(Cr, Fe)_{23}C_6$, борид железа Fe_2B и карбид ниобия NbC . Диборид ниобия NbB_2 образуется в слоях, сформированных наплавкой самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с 15 – 40 вес. % смеси ($Nb - B$).

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена корректной постановкой задач исследования, использованием современных методов исследования, комплексом результатов исследований, выполненных на высоком методическом уровне, согласованностью этих результатов. Автором осуществлена систематизация информации, представленной в отечественных и зарубежных источниках литературы по тематике структурообразования композиционных покрытий, наплавляемых с использованием источников энергии высокой концентрации, научные положения, выводы и рекомендации не противоречат современным представлениям об эволюции структуры композиционных покрытий в процессе их формирования.

Достоверность вынесенных на защиту положений, результатов и выводов диссертационной работы подтверждается их апробацией на более чем двадцати международных и всероссийских научных конференциях. Результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 8 статьях в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, в том числе 5 – в зарубежных журналах, входящих в базы данных *Scopus* и *Web of Science*.

Научная значимость и практическая ценность результатов

Полученные диссертантом новые знания расширяют представления о процессах формирования структуры покрытий из порошковой смеси самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором по технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Системный подход к решению сформулированных в работе задач позволил не только выяснить закономерности структурообразования поверхностного слоя в зависимости от технологических схем и режимов наплавки, но и оптимизировать технологические режимы по критериям износостойкости в условиях трения о нежестко закрепленные частицы абразива. В частности, разработанный диссертантом в соавторстве с научным руководителем состав наплавочной порошковой смеси ($Ni-Cr-Si-B$ -сплав + 35 % ($Nb - B$)), обеспечивает более чем двукратное увеличение стойкости материалов в условиях абразивного изнашивания.

Практическая ценность результатов исследований подтверждена промышленными испытаниями покрытий.

Список замечаний по диссертации и автореферату

1. Автор в актуальности темы исследования обосновывает необходимость упрочнения тяжело нагруженных деталей машин (валы технологических машин, валки прокатных станов, поршни и плунжеры насосов высокого давления, штампы для горячей деформации, см. страницы 6 и 19 диссертации), проводит промышленные испытания наплавленных покрытий на стали 40X и 40XФА, которые являются термически упрочняемыми. Известно, что при контакте с расплавом с такими сталями в зоне перегрева основного металла могут возникать дефекты структуры, резко снижающие прочностные характеристики как самой формируемой упрочняемой композиции, так и зоны термического влияния основного металла. Однако автор ограничился исследованием структуры и свойств непосредственно наплавленного слоя на не термоупрочняемую Сталь 20.

2. Механические свойства покрытий оценивались измерением их микротвердости (рисунок 5.2). Размер двухфазных частиц составляет 5-20 мкм и их объемная доля с увеличением содержания смеси «*Nb-B*» в исходной порошковой насыпке возрастает с 10 до ~55% (рисунок 4.6). Их твердость составляет ~15 ГПа. Однако дисперсия в распределении микротвердости по толщине покрытия на каждой точке графика не превышает $\pm 1,0$ ГПа от ее средней величины 9 ГПа.

3. Автор работы основным фактором, обеспечивающим высокий уровень твердости поверхностно-упрочненных материалов, указывает образование композиционных включений типа «*NbC - NbB₂*», размерами до 20 мкм. Однако анализ их тонкой структуры методом ПЭМ не приводится.

4. Автор работы по результатам проведенных исследований обосновал наиболее рациональный состав наплавочной порошковой смеси (*Ni-Cr-Si-B*-сплав + 35 % (*Nb-B*)). Однако патент на материал в списке литературы отсутствует.

Указанные замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы и ее практическую ценность.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Содержание диссертации соответствует пунктам 1 и 10 паспорта научной специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение):

П1. 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;

П10. Разработка покрытий различного назначения (упрочняющих, износостойких и других) и методов управления их качеством.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации
Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Заключение о соответствии работы п. П.9 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа Зимоглядовой Т.А. написана грамотно, в хорошем стиле. Разделы работы логически связаны и отражают системный подход и комплексность проведенного научного исследования.

По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости и объему полученных результатов диссертационная работа Зимоглядовой Т.А. «Повышение износостойкости стали с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором» удовлетворяет всем требованиям пункта П. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

Считаю, что автор диссертационной работы Зимоглядова Татьяна Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Официальный оппонент:
профессор отделения электронной инженерии,
инженерной школы неразрушающего контроля и диагностики
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ),
доктор технических наук,

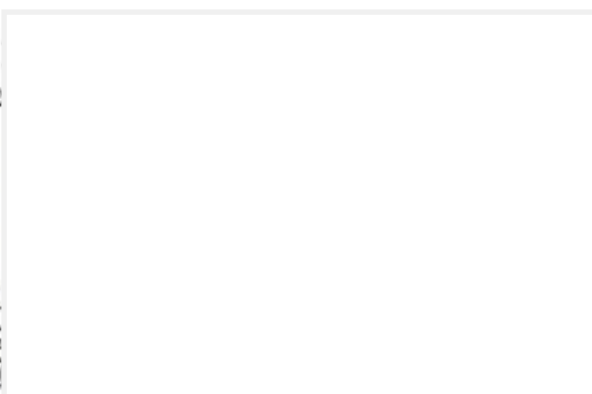
профессор



Гнюсов Сергей Федорович

Дата подписания отзыва: 25 ноября 2019 г.


“Подпись
Ученый секретарь”




Ананьева Ольга Афанасьевна

Почтовый
телефоны:
e-mail: gsf

тск, 634050
82-2) 419541

Иванюк В.С.
04.12.2019 
Тюменск А.С.

С отзывом ознакомлена 05.12.2019

Зимоглядова Т.А.