

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Бушуевой Евдокии Геннадьевны «Поверхностное упрочнение хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей «аморфный бор - Me (Cr, Fe, Ni)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Актуальность темы диссертационной работы.

Проблема повышения износостойкости рабочих поверхностей конструкций ответственного назначения из хромоникелевых аустенитных сталей, путем нанесения упрочняющих поверхностных слоев с использованием высококонцентрированных потоков энергии не теряет своей актуальности, несмотря на большой объем проведенных исследований, результаты которых реализованы в виде многочисленных технологий и материалов.

Исследование структуры фазового состава поверхностного слоя в виде порошковой композиции, состоящей из аморфного бора и металлов (Cr, Ni, Fe), в ходе наплавки и последующих испытаний имеет научное и практическое значение.

Структура и содержание диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, изложены: научная новизна и практическая значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов работы, структура и объем работы, приводятся сведения об апробации результатов диссертационной работы и основных публикациях.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Первая глава диссертации посвящена анализу научно-технической литературы по структуре и свойствам хромоникелевой аустенитной стали, способам ее упрочнения частицами высокопрочных фаз, на сопротивление стали абразивному изнашиванию. Дан анализ химико-термической обработки хромоникелевых аустенитных сталей. Обоснованы перспективность

использования в работе вневакуумной электронно-лучевой наплавки и выбор материалов, используемых для формирования упрочненных слоев. Основываясь на изученных многими научными школами закономерностях формирования структурно-фазового состава поверхностных слоев, автор определяет в качестве цели работы повышение износостойкости поверхности хромоникелевой аустенитной стали, с сохранением коррозионной стойкости и магнитной проницаемости на уровне $\mu \leq 1$ путем наплавки борсодержащих порошковых смесей с использованием энергии электронного пучка, выведенного в воздушную атмосферу.

Во второй главе представлены сведения о составе наплавочных материалов, применяемой установке и режимах вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Даны описания методик проведения исследований структуры и свойств сформированных слоев.

Третья глава «Структурные исследования поверхностных слоев, сформированных методами наплавки порошковых композиций» посвящена исследованию структурно-фазовых превращений, происходящих в поверхностных слоях стали в процессе высокотемпературного воздействия пучка электронов. На основе данных исследований автором работы показана возможность формирования градиентной структуры на поверхности стали 12Х18Н9Т в виде наплавленного слоя, переходного слоя, зоны термического влияния и основного материала с исходной структурой. Изучено влияние смачивающего компонента, его тип и содержание на структуру и свойства сформированных слоев.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния структурных преобразований поверхностно модифицированных слоев стали на свойства сформированных слоев. Автором установлены наиболее важные структурные параметры и фазовый состав, определяющие износостойкость полученных материалов в разных условиях абразивного воздействия. К ним относится объемная доля упрочняющих частиц, наличие смачивающего компонент, его тип и содержание. Проведена оценка коррозионных свойств и

определен уровень магнитной проницаемости сформированных слоев. На основе исследования комплекса свойств обоснована перспективность получения упрочняющих слоев из смеси порошков аморфного бора и металлов (Cr, Fe, Ni).

Пятой главе представлены рекомендации по практическому применению разработанных и исследованных слоев. Приведены рекомендации по оптимизации технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки для получения высокопрочных слоев с боридами металлов на заготовки из стали 12Х18Н9Т. На основе результатов производственных испытаний элементов клапана телеметрической системы, показана возможность повышения износостойкости изделия в 2,5 раза; для стенок гальванической ванны, зафиксировано повышение коррозионной стойкости в 2 раза; для поверхностей литейной пресс-формы установлено повышение износостойкости в 2 раза.

В разделе «Заключение» диссертационной работы приведены полученные основные результаты, **показывающие достижение цели**, поставленной в работе.

Наиболее важные научные и практически значимые результаты работы, отличающиеся новизной:

- Изучены структурно-фазовые преобразования, происходящие в поверхностных слоях стали 12Х18Н9Т при вневакуумной электронно-лучевой наплавке порошка аморфного бора, а также смесей аморфного бора и смачивающих компонентов (*Fe, Cr, Ni*). Показано, что слои, сформированные в отсутствие в наплавочных смесях порошков железа, хрома и никеля, характеризуются малой толщиной (менее 1 мм), неоднородным строением и образованием дефектов в виде пор, трещин и расслоений.

- Изучены структурно-фазовые преобразования, происходящие в поверхностных слоях стали 12Х18Н9Т при вневакуумной электронно-лучевой наплавке порошка аморфного бора, а также смесей аморфного бора и смачивающих компонентов (*Fe, Cr, Ni*). Показано, что слои, сформированные в отсутствие в наплавочных смесях порошков железа, хрома и никеля,

характеризуются малой толщиной (менее 1 мм), неоднородным строением и образованием дефектов в виде пор, трещин и расслоений;

- Определен состав наплавочных смесей, обеспечивающий высокий комплекс свойств поверхностно легированных сплавов. Максимальной износостойкостью при воздействии закрепленных частиц абразива, в пять раз превышающей стойкость немодифицированной стали 12Х18Н9Т, обладает сплав, полученный при наплавке аморфного бора с 10 мас. % порошка хрома. В условиях гидроабразивного изнашивания при угле атаки 20 градусов уровень его стойкости в 2 раза по сравнению с аустенитной хромоникелевой сталью. Высокий уровень сопротивления изнашиванию наплавленного материала обеспечивают кристаллы боридов хрома и боридов хрома, легированных железом, распределенные в эвтектической матрице;

- Экспериментально установлено, что увеличение содержания хрома в наплавочной смеси от 5 до 30 мас. % сопровождается двукратным повышением коррозионной стойкости поверхностных слоев в сравнении с исходной сталью 12Х18Н9Т. Показано, что увеличение коррозионной стойкости обусловлено повышением в полученных сплавах доли хрома и формированием в модифицированных слоях химически стойких кристаллов боридов хрома Cr_2B ;

- Изучено влияние боридов типа Me_2B ($Me=Cr, Cr+Fe$) на магнитные свойства слоев, сформированных на поверхности заготовок из хромоникелевой аустенитной стали. Установлено, что уровень магнитной проницаемости μ всех материалов, полученных при использовании в качестве смачивающего компонента хрома, составил ≤ 1 . Полученные экспериментально результаты объясняются образованием парамагнитных боридов хрома Cr_2B .

Достоверность научных результатов, обоснованность выводов и научных положений, выносимых на защиту, обеспечены комплексностью и использованием современных методов исследований. Результаты диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, из них 3 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК

РФ и 11 в международных базах данных Scopus, WoS; 5 – в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Замечания по диссертационной работе

1. В подрисуночных надписях в некоторых частях текста диссертации не указаны буквенные обозначения, что затрудняет восприятие излагаемого материала.
2. Определял ли автор, и каким методом процентное содержание бора (% масс.) в получаемых боридах, а именно в бориде железа состава $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{B}$ и бориде хрома Cr_2B .
3. В связи, с чем микротвердость одностипных боридных фаз $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{B}$ и Cr_2B получаемых при разных типах смачивающего компонента (Fe, Ni, Cr) различается в ряде случаев, более чем в 2 раза (см. автореферат стр. 12, рис. 4).
4. В главе 3 в тексте диссертации на рисунках 3.10, 3.17 и 3.19 приведены данные распределения микротвердости по сечению получаемых покрытий. Налицо скачкообразный характер изменения значений, обусловленный как технологией нанесения, так и неоднородностью формирующейся структуры. Следовало бы указать разброс распределения химических элементов по толщине покрытия, что показало бы связь изменения содержания химических элементов с вариацией микротвердости.
5. В положении 1 выносимое на защиту, что автор понимает под «упрочненным слоем повышенной толщины, характеризующимся высоким качеством строения» и положение 3 выносимое на защиту больше звучит как вывод.

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Е.Г. Бушуевой оценивается положительно, так как представляет собой законченное научное исследование, которое посвящено решению важной практической задачи и соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 – Материаловедение.

В соответствии с пунктом п.9 Положения о присуждении ученых степеней диссертация может рассматриваться как научно-квалификационная работа, в которой изложены результаты исследований и научно-обоснованные технические

решения, направленные на повышение прочности стальных изделий путем вневакуумной электронно-лучевой наплавки износостойких слоев, имеющие значение для развития российских предприятий. Диссертационная работа Е.Г. Бушуевой полностью соответствует требованиям, предъявляемым Положениям о присуждении ученых степеней (п.п. 9-11, 13, 14), утвержденным постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. Также следует отметить, что работа соответствует пункту 1 и 10 паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении (в соответствии с новой номенклатурой научных специальностей 2.6.17 – Материаловедение)).

По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости и объему полученных результатов диссертационная работа «Поверхностное упрочнение хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей «аморфный бор - Me (Cr, Fe, Ni)» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение, а ее автор, Бушуева Е.Г. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент: кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории микромеханики материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН)

Быкова Татьяна Михайловна

06.08.2022

“Подпись Быковой

Ученый секретарь
ИМАШ УрО РАН,

Поволоцкая А.М.

Почтовый адрес: 620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34
телефоны: мобильный 8-904-172-58-49, рабочий (343) 362-30-43
e-mail: tatiana_8801@mail.ru

Присутств. в совет 14.06.2022 [подпись] / Тюмин Н.В.
с оценок и замечаний 17.06.22. [подпись] / Бушуева Е.Г.