

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.

Хромоникелевая аустенитная нержавеющая сталь 12Х18Н10Т обладает уникальным комплексом физикохимических и механических свойств и широко используется для деталей, работающих в химически агрессивных средах. Кроме того, в отличие от большинства сталей 12Х18Н10Т немагнитна, что делает ее незаменимой в специальных приборах и устройствах. Существенный недостаток этой стали – низкая износостойкость в трибосопряжениях и в условиях воздействия абразива. Поэтому задача повышения износостойкости рабочих поверхностей ответственных деталей и конструкций из хромоникелевых аустенитных сталей является актуальной. В диссертационной работе Бушуевой Е.Г. эта задача решается созданием износостойкого поверхностного слоя электронно-лучевой наплавкой порошковых композиций из аморфного бора и металлов (Cr, Ni, Fe).

Структура и содержание диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, оценена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи, изложены научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов, положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов работы. Даны сведения об объеме работы, количестве иллюстративного материала, об апробации результатов диссертационной работы и основных публикациях.

Первый раздел диссертации посвящен анализу научно-технической литературы по структуре и свойствам хромоникелевой аустенитной стали, способам повышения износостойкости введением в ее структуру частиц тугоплавких соединений. Описаны недостатки и преимущества поверхностного упрочнения методами химико-термической обработки. Указаны преимущества

над диффузионными методами высокопроизводительных способов наплавки концентрированными источниками энергии (электронные пучки и лазерное излучение), которые позволяют наносить покрытия значительной толщины. Обоснованы целесообразность использования в работе вневакуумной электронно-лучевой наплавки и выбор материалов, используемых для формирования упрочненных слоев. Исходя из требований к наплавленным покрытиям, которые включают высокую абразивную износостойкость, химическую стойкость в растворах кислот и низкую магнитную проницаемость ($\mu \leq 1$) для наплавки были выбраны борсодержащие порошковые смеси.

Во втором разделе представлены сведения об использованных составах порошковых наплавочных материалов, описана конструкция, порядок и режимы работы на установке вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Даны описания методик проведения исследований структуры и фазового состава сформированных слоев, испытаний на износостойкость, коррозионную стойкость и определения магнитных свойств.

Третий раздел «Структурные исследования поверхностных слоев, сформированных методами наплавки порошковых композиций» посвящен исследованию структурно-фазовых превращений, происходящих в поверхностных слоях стали при нагреве высокоэнергетическим электронным лучом. Детально исследована микроструктура покрытий, формирующихся при вариации тока электронного луча и состава порошковой композиции. На основе данных исследований автором работы показана возможность получения на поверхности стали 12Х18Н9Т градиентной структуры, включающей наплавленный слой, переходный слой от покрытия к стальной подложке, зону термического влияния и основной материал с исходной структурой.

В четвертом разделе представлены результаты исследования влияния структурных превращений в поверхностно модифицированных слоях стали на их свойства. Автором установлены наиболее важные технологические параметры наплавки, обеспечивающие оптимальный фазовый состав и высокую износостойкость полученных покрытий в разных условиях абразивного

воздействия. К ним относится ток электронного луча, наличие, вид и содержание смачивающего компонента в наплавляемой порошковой композиции. Проведена оценка коррозионных свойств и определен уровень магнитной проницаемости сформированных слоев. На основе полученного комплекса свойств установлены технологические режимы электронно-лучевой обработки и элементные составы порошковых композиций, которые обеспечивают необходимые служебные характеристики деталей с покрытиями. Исследования и испытания, результаты которых приведены в четвертом разделе, отличаются разнообразием методов и методик. Стандартные испытания на абразивную износостойкость имитируют все условия воздействия абразива на изнашиваемую поверхность: износ закрепленным и незакрепленным абразивным зерном, высокоскоростной струей абразива в воздушной среде и в жидкости с вариацией угла падения струи на изнашиваемую поверхность. Такое же разнообразие методик использовано при проведении коррозионных испытаний. Весь массив результатов проведенных таким образом испытаний позволил надежно прогнозировать поведение наплавленных покрытий в реальных условиях эксплуатации конкретных деталей.

В пятом разделе даны рекомендации по практическому применению полученных в работе результатов исследований композиционных покрытий, содержащих бориды и нанесенных на подложки 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 с наплавленным покрытием зафиксировано повышение коррозионной стойкости в 2 раза; для поверхностей литейной пресс-формы установлено повышение износостойкости в 2 раза. Все результаты производственных испытаний официально оформлены актами, подписанными и утвержденными руководством предприятий.

В разделе «Заключение» диссертационной работы сформулированы выводы по результатам, полученным в работе, изложены сведения об использовании результатов в настоящее время и о перспективах их применения в будущем.

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

- Впервые исследованы структурно-фазовые превращения, 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*).

- 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 выше по сравнению с аустенитной хромоникелевой сталью. Сопротивление изнашиванию наплавленного материала обеспечивают кристаллы боридов хрома и боридов хрома легированных железом, распределенные в эвтектической матрице.

- Исследована стойкость наплавленных покрытий в растворах кислот и установлены составы наплавляемых порошковых смесей, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость.

- 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 .

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 статей опубликовано в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК

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

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. В работе приведен обширный иллюстративный материал с результатами металлографических исследований. В противоположность этому явно недостаточен объем рентгеноструктурных исследований, которые представлены тремя рентгенограммами, иллюстрирующими качественный фазовый состав. Современные методы обработки дифракционных данных позволяют с приемлемой точностью определять количественный фазовый состав даже в многофазных смесях. Отсутствие данных о количественном содержании двух обнаруженных боридов, а также о соотношении феррита и аустенита в наплавленных покрытиях не позволяет понять и обсудить влияние фазового состава на износостойкость при различной интенсивности воздействия абразива, а также на коррозионную стойкость и магнитные свойства.
2. В работе отсутствуют справочные сведения о свойствах Cr_2B и $(\text{Fe,Cr})_2\text{B}$ (твердость, вязкость разрушения, коррозионная стойкость, магнитные свойства). Поэтому остается неясной степень влияния боридных фаз (которые в тексте называются «высокопрочными») на свойства многофазного покрытия.
3. Для лучшего понимания влияния морфологических особенностей структуры на свойства следовало бы идентифицировать боридные включения в структуре покрытия (например, методом локального рентгеноспектрального анализа). В совокупности с результатами количественного рентгенофазового анализа это позволило бы более качественно и убедительно обсудить связь структуры, фазового состава и свойств.

Указанные выше замечания не изменяют общую положительную оценку диссертационной работы Е.Г. Бушуевой. Изложение материала рукописи логически и стилистически грамотное, форматирование и оформление

качественное. Выводы по работе обоснованы приведенными экспериментальными результатами. Автореферат достаточно полно отражает основные результаты и выводы диссертации.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, которое посвящено решению важной практической задачи и соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 – материаловедение.

В соответствии с пунктом II.9 Положения о присуждении ученых степеней диссертация может рассматриваться как научно-квалификационная работа, в которой изложены результаты исследований, направленных на повышение ресурса работы ответственных изделий из нержавеющей стали 12X18H9T методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки износостойких покрытий.

По уровню решаемых задач, научной новизне, практической значимости и объему полученных результатов диссертационная работа «Поверхностное упрочнение хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T 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: доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Лаборатории физики консолидации порошковых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

Прибытков Геннадий Андреевич

08.06.2022

Подпись Прибыткова Геннаде

Ученый секретарь ИФПМ СО

Матолыгина Н.Ю.

Почтовый адрес: 634055, г. Т

2/4

телефоны: мобильный 8-913-860-0449; рабочий (382-2) 28-69-67

e-mail: gapribyt@mail.ru

Сотрудник отделе

17.06.22.

Бушуева Е.Г.

Поступил в совет
14.06.2022

Тюрин Н.П.