

В диссертационный совет 24.2.316.01
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»
по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина, 27

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Нгуен Ван Винь «Поверхностное упрочнение низкоуглеродистой стали методом поверхностного оплавления борсодержащей смеси порошков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение (технические науки)»

Диссертация Нгуен Ван Винь посвящена проблеме повышения износостойкости деталей машин и механизмов, работающих в условиях, как воздействия абразивных частиц, так и трения скольжения. В работе решаются важные и актуальные задачи современного машиностроения – увеличения срока службы и снижение эксплуатационных затрат. Эти прикладные задачи предполагают решение фундаментальной научной проблемы – совершенствование технологии поверхностного упрочнения металлов и сплавов, работающих в условиях трения скольжения с применением высококонцентрированных источников нагрева (лазер, электронный луч, плазменная струя и другие).

В представленной работе для повышения эксплуатационных характеристик углеродистой стали предлагается использовать технологию плазменного поверхностного оплавления борсодержащей смеси. Этот метод использует сжатую плазменную дугу между неплавящимся электродом и основным материалом в качестве источника тепла для переплава легирующей обмазки с материалом подложки. Отмечено, что плазменное поверхностное оплавление стало хорошей альтернативой другим высокоэнергетическим методам поверхностного легирования, таким как лазерное или электронно-лучевое легирование, из-за простоты процесса, возможности использования стандартных сварочных аппаратов относительно

низкой стоимости по сравнению с лазерными или электронно-лучевыми источниками нагрева. Таким образом, прикладная и научная сторона выполненной работы оказываются взаимосвязанными.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов обеспечивается согласованностью и воспроизводимостью экспериментов, полученных с использованием различных методов, не противоречащих существующим научным представлениям. В диссертации использован программный комплекс Simufact Welding для точного моделирования термических процессов, что позволило предсказать температурные поля, глубину и ширину зоны оплавления борсодержащей обмазки, напряжения и деформации в поверхностном слое металла, что в последствии подтверждено натурными испытаниями. Эти результаты имеют теоретическую ценность для дальнейшего развития моделей теплопередачи и кристаллизации в условиях плазменной обработки металлов.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка использованных источников литературы из 115 наименований и приложений А, Б. Работа изложена на 158 страницах, содержит 92 рисунка, 7 таблиц. Во введении обоснованы актуальность и цель исследования, его новизна и практическая ценность, а так же положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу литературных источников, в которых рассмотрены боридные покрытия характеризующиеся высокой твердостью и износостойкостью. Уникальное преимущество боридных покрытий заключается в их высокой стойкости к истиранию, которая значительно выше, чем у покрытий, полученных другими способами химикотермической обработки, например науглероживание или азотирование. Основным недостатком боридных слоев является их высокая хрупкость. Это не позволяет эффективно использовать борированные детали, подвергаемые ударным и высоким локальным нагрузкам в процессе эксплуатации. Так же рассмотрены традиционные методы борирования, используемые в промышленности в газовых, жидких и твердых средах на основе диффузии атома бора в поверхность стали. Проанализирован один из эффективных способов повышения пластичности слоёв, содержащих соединения железа и бора. Рассмотрен способ использования концентрированных источников энергии как плазменная дуга который обладает рядом преимуществ перед другими, такими как большая

универсальность, возможность обработки деталей сложных форм, меньшая стоимость оборудования и эксплуатации, а также меньшее тепловое воздействие на материал.

Вторая глава посвящена описанию исследуемых материалов, методов исследования, оборудованию и технологии. В качестве основного материала для исследования была выбрана конструкционная низкоуглеродистая сталь 20, широко применяемая в машиностроении. Формирование упрочняющих слоёв было достигнуто путём использования легирующих материалов, состоящих из порошков аморфного бора, соответствующих требованиям ТУ-1-92-154-90, и карбида бора В4С, изготовленного в соответствии с ГОСТ 5744-85. В состав легирующей смеси также добавляли железный порошок (ТУ-АРМКО, ТЧЖ), выполняющий функцию смачивающего компонента. В качестве связующего вещества применялся фенолформальдегидное полимерное соединение БФ-2 (ГОСТ 12172).

В третьей главе был проведен детальный анализ изменений, происходящих в структуре поверхностных слоев материалов после воздействия плазменной дуги. Для изучения структуры упрочненных слоев были применены методы оптической металлографии, растровой и сканирующей электронной микроскопии. Фазовый состав материалов был определен с помощью метода рентгеновской дифракции. В разделе 3.1 применено компьютерное моделирование процесса поверхностного плазменного нагрева стали с помощью программы Simufactwelding. Моделирование позволило спрогнозировать распределение температурных полей, определить глубину и ширину зоны оплавления, а также подобрать оптимальные режимы обработки для достижения требуемых характеристик легированных слоёв. В разделе 3.2 проведены исследования структуры и свойств слоев В-Fe. В разделе 3.3 рассмотрены структурные исследования упрочненных слоев В4С-Fe.

В четвертой главе представлены результаты исследований различных свойств материалов, полученных в результате плазменного оплавления борсодержащей смеси. Раздел 4.1 посвящён дюрометрическим исследованиям, при данных исследованиях применялся метод Роквелла, регламентированный ГОСТ 9013, для определения макротвёрдости легированных слоёв. Результаты исследования показали, что средняя макротвёрдость боридных покрытий, полученных путём плазменного

легирования бором, варьируется в диапазоне от 40 до 63 HRC. Для определения микротвердости легированных покрытий использовался метод Виккерса и микротвердомер SHIMAZU HNV – 2T с системой автоматического считывания размеров отпечатков. Отмечено, что микротвердость боридов железа составляет 1400...1500 HV, эвтектики между ними – 800...900 HV, а области дендритов – 600... 700 HV. В разделе 4.2 проведена оценка износостойкости легированных слоев исследуемых материалов в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц. Результаты измерений показали, что наилучшую износостойкость продемонстрировали образцы, полученные с помощью плазменного оплавления порошковой смеси 40B4C-10Fe-120A. По сравнению с эталонным образцом из цементированной стали 20, их стойкость увеличилась в три раза. Отмечено, что снижение концентрации бора в борсодержащей смеси после плазменного оплавления приводит к повышению скорости изнашивания материалов при трении. Раздел 4.3 посвящён оценке износостойкости легированных слоев исследуемых материалов в условиях сухого трения по схеме «блок по кольцу». По итогам исследования установлено, что поверхностное плазменное оплавление смеси 40B4C-10Fe на поверхности стали при токе 120А обладает наибольшей износостойкостью в условиях трения скольжения. В ходе исследования следов износа после проведения испытаний было выявлено, что на поверхности трения после плазменного нанесения борсодержащей смеси не наблюдалось значительного количества глубоких борозд. В то же время на поверхности трения образца цементированной стали было обнаружено большое количество широких борозд. В Разделе 4.4 описаны испытания на адгезию по Роквеллу-С, было отмечено, что легированные слои покрытий, полученных методом плазменного оплавления борсодержащей смеси, обладают хорошей адгезией к основному металлу.

Пятая глава посвящена апробации результатов экспериментальных исследований. Эксперименты показали, что плазменное оплавление смеси 40B4C-10Fe при токе 120А позволяет сформировать легированные слои с заэвтектической структурой (бориды железа + эвтектики), обладающие высокой твердостью, которая составляет 1200-1450 HV. Повышение тока до 160 А приводит к существенному снижению твердости, которая составляет 410 – 550 HV после обработки. Одним важным фактором, который

значительно влияет на структуру и свойства легированных слоев, является содержание бора в оплавляемой смеси. Установлено, что снижение содержания бора до 25% приводит к формированию боридных слоев с доэвтектическим строением и снижению уровня твердости до 850-1000 HV. На основании экспериментальных результатов были разработаны технологии плазменного оплавления борсодержащей смеси для повышения износостойкости лемеха и стрелчатой лапы культиватора. Установлено, что боридные слои, полученные методом плазменного оплавления, показывают высокую износостойкость и прочность. Это делает их эффективными для увеличения срока службы деталей, работающих в условиях трения и высокой нагрузки по сравнению с традиционными методами борирования. Плазменное оплавление позволяет быстрее обрабатывать детали, более точно контролировать толщину и микроструктуру слоя, а также повышает экономическую эффективность процесса, что особенно полезно для обработки сложных форм и мелких участков деталей. Результаты диссертационной работы могут быть использованы для преподавания современных методов термообработки стали и повышения износостойкости материалов, а также для проведения лабораторных и исследовательских работ в учебных заведениях.

Научная новизна исследования:

– автором установлены закономерности формирования борированных упрочненных слоев в поверхностном слое низкоуглеродистой стали в зависимости от технологических параметров плазменного оплавления борсодержащей смеси, включающей карбид бора в качестве основного компонента, железо и связующий компонент. Изменение погонной энергии от 525 до 700 кДж плазменной дуги и содержания бора в борсодержащей смеси приводят к формированию различных структурных зон по глубине поверхностного слоя: заэвтектической; эвтектической; доэвтектической. Глубина упрочнения составляет от 600 до 2500 мкм, а значения микротвердости в диапазоне от 800 до 1400 HV.

– установлено, что при плазменном оплавлении борсодержащей смеси с погонной энергией 525 кДж формируется фаза бориды железа (Fe_2B), которая является центром кристаллизации для ориентированного роста эвтектических колоний ($\text{Fe}_2\text{B} + \alpha\text{-Fe}$), создавая непрерывный каркас из упрочняющих равновесных фаз: Fe_2B и $\alpha\text{-Fe}$. При плазменном оплавлении с

погонной энергией 700кДж формируются первичные бориды (FeB , Fe_2B) и неравновесные фазы боридов железа (Fe_3B , $\text{Fe}_3(\text{B,C})$) и $\alpha\text{-Fe}$. Бороцементитная фаза по стехиометрическому составу соотносится с фазой $\text{Fe}_3\text{B}_{0,6}\text{C}_{0,4}$.

– выявлено, что микротвердость боридных слоев зависит от объемной доли боридов железа в борсодержащей смеси и варьируется в диапазоне от 600 до 1535 HV. Максимальная твердость достигается при плавлении борсодержащей смеси (содержании бора 40%) с погонной энергии плазменной дуги 525 кДж. Увеличение погонной энергии плазменной дуги до 700 кДж приводит к формированию доэвтектической структуры и снижению твердости.

– установлена прямая зависимость между содержанием бора в оплаиваемой борсодержащей смеси, микроструктурой и износостойкостью легированных слоев. Высокие показатели износостойкости, которые в три раза превышают показатели цементированной стали 20, достигаются при погонной энергии плазменной дуги 525 кДж и содержании бора 40% в борсодержащей смеси. Снижение содержания бора до 25% приводит к уменьшению объемной доли боридов железа и, как следствие, к увеличению скорости износа материалов. Увеличение содержания бора в смеси свыше 40% приводит к появлению трещин в упрочненном слое.

Практическая значимость:

Предложен новый подход к моделированию процессов теплопроводности и структурных преобразований при плазменном плавлении борсодержащей смеси порошков нанесенных на поверхность металла с использованием современных компьютерных программных средств. В диссертации использован программный комплекс Simufact Welding для точного моделирования термических процессов, что позволило предсказать температурные поля, глубину и ширину зоны оплаивания борсодержащей обмазки, напряжения и деформации в поверхностном слое металла. Эти результаты имеют теоретическую ценность для дальнейшего развития моделей теплопередачи и кристаллизации в условиях плазменной обработки металлов. Полученные результаты расширяют научные представления о механизмах абразивного износа и трения скольжения в упрочненных поверхностных боридных слоях низкоуглеродистых сталей, что важно для разработки новых материалов с повышенной стойкостью к износу.

Разработка технологических режимов плазменного оплавления борсодержащих смесей, нанесенных на поверхность металла, для формирования упрочнённых поверхностных слоёв в низкоуглеродистой стали. В ходе работы предложены режимы плазменного оплавления (сила тока, состав борсодержащей смеси), которые обеспечивают получение упрочнённых слоёв с высокими эксплуатационными свойствами – твёрдостью, износостойкостью и адгезией. Эти данные могут быть использованы в промышленной практике при обработке деталей и машин, работающих в условиях тяжелых механических нагрузок и износа. Полученные результаты могут быть внедрены в металлургической, машиностроительной и горнодобывающей отраслях для улучшения долговечности и надёжности оборудования. Это позволит снизить издержки на ремонт и замену деталей за счёт увеличения их срока службы. Результаты, полученные в диссертационной работе, применяются в учебном процессе Иркутского национального исследовательского технического университета при подготовке студентов по курсам «Материаловедение», «Теория сварки плавлением и давлением», «Источники энергии для сварки».

Замечания по работе следующие:

1. В пункте 4 научной новизны нет обоснования выбора промежуточных значений процентного состава бора (в работе приведены только 25 % или 40%).

2. Пункт 1 теоретической и практической значимости работы логичнее перенести в научную новизну, так как в данном пункте приведены закономерности изменения микроструктуры, фазового состава и свойств легированных слоёв в зависимости от технологических параметров плазменного оплавления (сила тока, содержание легирующих элементов). Это способствует углублению понимания процессов формирования боридных фаз и их влияния на механические свойства материалов», логичнее.

3. В пункте 5 теоретической и практической значимости работы говорится об увеличении срока службы деталей, однако в работе нет анализа статистического материала по данному вопросу.

4. При оценке свойств боридного слоя автор данной работы использует напряжение скола, которое учитывает физико-механические свойства боридов (микротвёрдость, модуль упругости), фазовый состав,

соотношение фаз, дисперсность, взаимное расположение, напряжённое состояние и пластичность. Однако в работе не приведена методика определения напряжения скола.

5. Отсутствуют выводы по главе 2.

6. На рисунке 3.4 не приведена расшифровка разноцветных линии.

7. Не на всех фото микроструктур указаны обозначения структурных составляющих, что затрудняет их анализ.

8. Не ясно может ли влиять связующее вещество фенолформальдегидное полимерное соединение БФ-2 на качество и свойства покрытия.

9. В диссертации достаточно широко освещены вопросы замеров микротвёрдости по глубине оплавленного слоя, однако нет данных по изменению состава покрытия.

10. В работе даны рекомендации по использованию предлагаемой технологии для упрочнения деталей, однако не ясно проводились ли эксплуатационные испытания в условиях ударных нагрузок.

11. В работе имеются редакционные замечания. Например, «Fe₂V – правильно Fe₂V», «включая 92 рисунок – правильно рисунка», «следует следить – правильно необходимо следить».

12. Цели и задачи работы не совпадают с общими выводами.

Замечания по диссертации, отмеченные выше, не снижают научно-практическую ценность, не ставят под сомнение актуальность, обоснованность и достоверность теоретических и практических результатов исследований.

Заключение по диссертационной работе.

Диссертационная работа Нгуен Ван Винь является завершённой научно-квалификационной работой, в которой автор на высоком научно-практическом уровне решил задачу повышения износостойкости металлических сплавов работающих в условиях воздействия абразивных частиц с целью увеличения срока службы и снижения эксплуатационных затрат с использованием плазменного оплавления борсодержащей смеси на поверхности обрабатываемых изделий.

Выводы, закономерности и рекомендации, полученные в результате новых экспериментальных и теоретических данных научно обоснованы, подтверждаются общепринятыми положениями в соответствующих областях

