

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный  
технический университет»  
доктор технических наук, доцент  
**Брованов Сергей Викторович**

«15» декабря 2022 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертацию Нгуен Ван Чьеу «Поверхностное упрочнение низкоуглеродистой стали методом плазменного поверхностного плавления обмазки оловянной бронзы и карбида хрома», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

В настоящее время существует проблема повышения износостойкости металлических сплавов, деталей и механизмов, работающих в условиях, как воздействия абразивных частиц, так и трения скольжения. Разнообразные детали: втулки, пластины скольжения (ползуны), неподвижные пластины (для пресс-формы), подшипниковые узлы, изготовленные из дорогих медных сплавов, нуждаются в необходимости повышения прочности и других свойств, таких как износостойкость и коррозионная стойкость, а также в периодической замене. Хотя многие медные сплавы обладают высокими антифрикционными свойствами, но их низкая износостойкость и высокая стоимость не всегда удовлетворяют экономико-техническим требованиям современного производства.

В последние годы, появилось решение для замены бронзовых материалов и повышения качества железных сплавов является использование материалов на основе композиции железа и меди (Fe-Cu), которые могут обеспечивать высокую износостойкость и низкий коэффициент трения. Показаны преимущества и недостатки на практике у созданных сплавов системы Fe-Cu для повышения износостойкости металлических сплавов, деталей и механизмов, работающих в условиях, как воздействия абразивных частиц, так и трения скольжения.

Проанализированы возможности использования плазменной дуги для создания покрытий системы Fe-Cu-Sn с улучшением упрочняющих свойств поверхности деталей и инструментов.

#### Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка использованных источников литературы из 224 наименования и приложений А, Б; она

изложена на 207 страницах машинописного текста, содержит 106 рисунков, 24 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований; изложены новизна и практическая ценность, а так же основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор литературы по методам создания поверхностного покрытия на основе железа-меди, определяется подход к выбору сплавов Fe-Cu-Sn для повышения твердости и износостойкости сплавов, деталей и механизмов, работающих в условиях как абразивные частицы и трение скольжения, а также постановка задачи исследования. Для получения поверхностного слоя на основе композиции железа и меди существуют два основных способа: поверхностное легирование сталей или чугунов с помощью меди или медных сплавов и поверхностная наплавка механической смеси на основе Fe-Cu или медных сплавов. Анализ результатов опубликованных работ показал, что для получения поверхностного слоя на основе Fe-Cu необходимо оплавление поверхности металла. В литературе практически нет работ, связанных с изучением влияния плазменного нагрева сплавов системы Fe-Cu-X (X: Cr, Ni, Mn, C и др.) на структуру и комплекс свойств полученных новых материалов. Актуальность настоящих исследований состоит из поиска технологических параметров для обеспечения оптимального насыщения стальной поверхности в режиме оплавления смесью оловянной бронзы и карбида хрома, повышения степени дисперсности и взаимной растворимости сплавов, а также эффективности использования высококонцентрированных источников для плавления сплава в твердой фазе.

Во второй главе описаны оборудование и методы исследования. Сделано обоснование выбора состава для создания обмазки на основе смеси, включающей оловянную бронзу (ПРВ-БрО10) с размером частиц менее 150 мкм; упрочняющий компонент, содержащий карбид хрома; связующий материал (канцелярский силикатный клей). Данный тип обмазки дает хорошее механическое сцепление с поверхностью и обеспечивает стабильность горения плазменной дуги.

В третьей главе представлены результаты: моделирования процесса оплавления поверхности стали с помощью пакета программ VISUAL-ENVIRONMENT 8.6, получения легированного слоя при плавлении оловянной бронзы с использованием различной толщины обмазки и различных токов, получения легированного слоя после плазменной оплавления смеси оловянной бронзы и карбида хрома с различной ее фракцией и долей при силе тока 140 А и толщине слоя обмазки 0,25 мм, исследования влияния толщины обмазки на формирование поверхностного легированного слоя из смеси оловянной бронзы и карбида хрома, формирования легированного слоя с перекрывающимися дорожками при плазменном нагреве смеси оловянной бронзы и карбида хрома, сравнительной оценки твердости легированных слоев Fe-Cr-C-Cu-Sn при упрочнении плазмой и лазером.

В четвертой главе приведены результаты определения химического и фазового составов, изучение особенности микроструктуры полученных слоев и механизма формирования легированного слоя, влияния конвекции Марангони и вязкого взаимодействия на процесс проплавления металлов.

**В пятой главе** приведены результаты исследования: испытания легированных слоев на стойкость к истиранию в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц, а также в условиях сухого трения скольжения; оценка теплостойкости легированных слоев при высоких температурах; изучение влияния легированных слоев на коррозионную стойкость низкоуглеродистой конструкционной стали в растворе NaCl с концентрацией 3 мас. %; разработка предложения по технологическим и техническим требованиям к процессу формирования на поверхности заготовок из конструкционной стали износостойких слоев Fe-Cr-Cu-Sn с использованием плазменной дуги.

#### **Научная новизна**

- выявлены закономерности формирования структуры легированных слоев в поверхностном слое низкоуглеродистой конструкционной стали в результате плазменного оплавления обмазки, состоящей из смеси оловянной бронзы и карбида хрома, в зависимости от режима плазменного нагрева (тепловой мощности плазменной дуги, скорости обработки) и подготовки обмазки (толщины слоя, размера частиц и состава). Глубина легированных слоев составляет 800 – 1300 мкм, значения микротвердости 400 – 700 HV.

- установлено, что при формировании оплавленного слоя на поверхности конструкционной стали основными фазами и структурами легированного слоя системы Fe-Cu-Sn являются твердый раствор углерода в  $\alpha$  и  $\gamma$ -Fe, твердый раствор меди с оловом  $\alpha$ -Cu,  $\varepsilon$ -Cu,  $\delta$ -Cu<sub>41</sub>Sn<sub>11</sub> и  $\beta'$ -Cu<sub>13,7</sub>Sn, а для легированного слоя системы Fe-Cr-Cu-Sn: твердый раствор углерода в  $\alpha$  и  $\gamma$ -Fe, мартенсит, эвтектический карбид (Fe<sub>3</sub>C), твердый раствор меди с оловом  $\alpha$ -Cu, карбид M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Идентифицированы два вида частиц  $\varepsilon$ -Cu: первого типа размерами 20 – 30 мкм и второго типа со средним размером ~ 250 нм.

- определено, что устойчивость конструкционной стали (с легирующим поверхностным слоем) к абразивному износу уменьшается в ряду: легированный слой системы Fe-Cr-Cu-Sn > Fe-Cu-Sn > Cu-Sn. При сухом трении скольжения износостойкость легированного слоя системы Fe-Cr-Cu-Sn в 2 – 3 раза выше по сравнению с легированными слоями систем Cu-Sn, Fe-Cu-Sn и литейной оловянной бронзой.

- установлено, что в растворе NaCl с концентрацией 3 мас. % и кислотностью pH 6,5 легированный слой системы Cu-Sn имеет наименьшую плотность тока коррозии (в 2 раза меньше, чем остальные слои), а потенциал коррозии слоя Fe-Cr-Cu-Sn выше на 90 и 70 мВ по сравнению со слоями Cu-Sn и Fe-Cu-Sn. Экспериментально доказана роль хрома в составе обмазки в смещении потенциала питтинга в сторону более положительных значений при повышении пассивирующей способности легированного слоя Fe-Cr-Cu-Sn. Коррозионная стойкость увеличивается в ряду систем легированных слоев: Fe-Cu-Sn < Fe-Cr-Cu-Sn < Cu-Sn.

#### **Теоретическая и практическая значимость**

- полученные при выполнении исследований результаты работы расширяют представления о структурных и фазовых превращениях, происходящих при плазменном поверхностном оплавлении смеси сплава системы Cu-Sn с упрочняющей добавкой карбида хрома, с получением легированного поверхностного слоя на конструкционной стали системы Fe-Cr-Cu-Sn. Полученные в работе новые данные в

дальнейшем будут учитываться другими исследователями в процессе выбора различных типов обмазок для получения поверхностно-легированных слоев на конструкционных стальях по технологии плазменного поверхностного оплавления.

- продемонстрирована возможность сочетания сплава меди (оловянной бронзы) и карбida хрома для создания на конструкционной стали поверхностного легированного слоя с оптимальными свойствами (по твердости, износостойкости и коррозионной стойкости) в режиме оплавления.

- разработаны технологические основы для создания на поверхности низкоуглеродистой конструкционной стали поверхностного слоя системы Fe-Cr-C-Si-Sn, толщиной 1 – 2 мм из обмазки системы Cu-Sn с упрочняющей добавкой карбida хрома, при толщине наносимого на поверхность стали слоя обмазки 0,5 мм, скорости обработки 2 – 3 мм/с и силе тока 100 – 140 А.

- доказана возможность повышения поверхностной твердости деталей машин и инструментов, работающих в условиях трения скольжения до 600 – 700 HV с использованием обмазки смеси оловянной бронзы и карбida хрома.

#### **Методы исследования и достоверность результатов**

При выполнении диссертационной работы применялись следующие методы исследования: измерение микротвердости; испытание на коррозионную стойкость; испытание на абразивное изнашивание; испытание в условиях сухого трения скольжения; испытание на теплостойкость; металлографический, рентгенофлуоресцентный и оптико-эмиссионный анализы. Для определения скорости нагрева и охлаждения при плазменной обработке и оптимизации технологических параметров процесса нагрева использовались современные методы численного моделирования. Исследования проводились с применением современного аналитического и технологического оборудования, лабораторных установок и соответствующих методик проведения экспериментов, дающих достоверные результаты. Достоверность результатов работы достигается применением современных методов с достаточной статистической вероятностной повторяемостью. Высокая корреляция результатов экспериментов и постоянство свойств легированных слоев подтверждается современными методами анализа структуры металлов. Результаты исследования не противоречат существующим научным положениям и согласуются с результатами работ других авторов, которые используют другие источники нагрева металлов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано в журналах и в сборниках научных конференций 16 научных работ, из них 5 статьи входят в международную систему SCOPUS, 4 статьи в журналах, которые входят в перечень ВАК.

Выборочный анализ соответствия результатов публикаций требованиям ВАК показывает, что основные результаты диссертации изложены в статьях :

1. Нгуен В.Ч. Повышение твердости поверхностного слоя малоуглеродистой стали за счет плазменной обработки модифицирующей обмазки // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 1 (150). – С. 52–63.

2. Нгуен В.Ч., Астафьева Н.А., Тихонов А.Г., Балановский А.Е. Сравнительная оценка твердости легированных покрытий из обмазки смеси CuSn-CrxCy при упрочнении плазмой и лазером // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17. – № 4 (196). – С. 166–172.

3. Нгуен В.Ч., Астафьева Н.А., Балановский А.Е., Баранов А.Н. Исследование коррозионной стойкости легированного поверхностного слоя составом CuSn-CrxCy после плазменного упрочнения // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17. – № 5 (197). – С. 215–220.

4. Балановский А.Е., Астафьева Н.А., Тихонов А.Г., Нгуен В.Ч. Исследование износостойкости плазменных покрытий из смеси сплавов CuSn/CrxCy // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17. – № 8 (200). – С. 371–377.

#### **Вопросы и замечания по диссертационной работе:**

1. Целью диссертационной работы является повышение твердости и износостойкости поверхности низкоуглеродистой конструкционной стали. Из текста диссертационной работы не понятно, с какой целью проводились исследования по определению теплостойкости (задача №6, стр. 9 диссертации) и коррозионной стойкости (задача №7, стр. 10 диссертации).
2. Из текста диссертационной работы не понятно, по какому принципу выбрали нагрузку 5, 20, 50 Н при определении износостойкости.
3. В работе в качестве оборудования для определения износостойкости использовали шлифовально-полировальный станок. Однако имеется ГОСТ 17367-71 (метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы). В этом случае можно было провести сравнительный анализ с другими научными работами и материалами.
4. Нанесение защитных покрытий методами оплавления способствует изменению механических свойств основного металла. В работе приводятся только значения микротвердости. Определение характеристик прочности, пластичности, ударной вязкости способствовало бы улучшению качества исследуемой темы.
5. В работе имеются не корректное описание структурного состояния металла. Например: рисунок 3.30, стр.116 (равноосные структуры, ячеистые структуры, столбчатые структуры). Вероятно, речь идет о равноосных, ячеистых и столбчатых кристаллах или зернах.

#### **Заключение**

С учетом актуальности темы диссертации, научной обоснованности, оригинальности и новизны технологических разработок можно делать вывод о том, что диссертация Нгун Ван Чьеу на тему «Поверхностное упрочнение низкоуглеродистой стали методом плазменного поверхностного плавления обмазки оловянной бронзы и карбида хрома» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на современном научно-техническом уровне.

Диссертационная работа Нгуен Ван Чьеу на тему «Поверхностное упрочнение низкоуглеродистой стали методом плазменного поверхностного плавления обмазки оловянной бронзы и карбида хрома» соответствует квалификационным требованиям пункта 9 «Положение о присуждении научных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Нгуен Ван

Чьеу, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Диссертационная работа и содержание отзыва обсуждены и одобрены на заседании научного семинара кафедры материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета, протокол №12\1 от 15.12. 2022 г.

Присутствовало на заседании 25 человек.

Результаты голосования: «за» – 25 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Отзыв подготовлен д.т.н. (2.6.17 – материаловедение), профессором, заведующим кафедрой материаловедения в машиностроении Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), Батаевым Владимиром Андреевичем.

Заведующий кафедрой материаловедения  
в машиностроении НГТУ,  
д-р техн. наук, профессор

Батаев Владимир Андреевич

Подпись Батаева В.А. заверяю  
начальник ОК НГТУ

Пустовалова О.К.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный технический университет  
Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20  
Тел.: +7 (383) 346 50 01  
E-mail: rector@nstu.ru  
Сайт: <https://www.nstu.ru>