

«УТВЕРЖДАЮ»

ной работе и инновациям ТПУ

И.Б. Степанов

«20» ноября 2018 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертационную работу Степановой Натальи Владимировны «Влияние меди на комплекс механических и антифрикционных свойств заэвтектоидных сталей и чугунов» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

На отзыв представлены:

- текст диссертационной работы на 203 страницах, включая 62 рисунка и 2 таблицы, библиографический список из 212 источников; диссертация содержит введение, пять разделов, заключение, список литературы;
- автореферат диссертации на 20 страницах, включая список из 25 основных публикаций по теме диссертационной работы, из которых 8 статей в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 8 публикаций в зарубежных изданиях, входящих в перечни *Web of Science* или *Scopus*, 9 - в сборниках научных трудов и трудов международных и всероссийских научно-технических конференций. Получен 1 патент Российской Федерации.

### **Актуальность диссертационной работы**

Диссертационная работа Степановой Н.В. посвящена одной из актуальных проблем современного материаловедения, связанной с разработкой антифрикционных железуглеродистых сплавов с высоким содержанием углерода, комплексно упроченных компактными частицами на медной основе. Областью применения таких материалов являются детали крупногабаритных узлов трения скольжения различного технологического оборудования. В настоящее время для изготовления таких деталей, как правило, используются бронзы. Необходимость разработки новых антифрикционных материалов для замены бронз связана с высокой стоимостью меди. Сплавы на основе железа, в частности чугуны или заэвтектоидные стали, при условии легирования их медью, являются более дешевой альтернативой бронзам.

Железуглеродистые сплавы, легированные медью, применяются довольно широко. Особенностью таких сплавов является крайне малая растворимость меди в железе при комнатной температуре, за счет чего практически вся медь выделяется в виде фазы  $\epsilon$ -Cu. Тем не менее, влияние



меди на процессы структурообразования, несмотря на наличие большого количества научных работ, остается весьма противоречивой областью исследований. В этой связи всестороннее изучение особенностей выделения фазы  $\epsilon$ -*Си* в железоуглеродистых сплавах и ее влияния на комплекс механических и триботехнических свойств материалов делает представленную диссертационную работу актуальной, и полученные в ней результаты имеют важное научное и прикладное значение.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

Среди результатов, полученных Степановой Н.В. в ходе выполнения диссертационной работы, необходимо отметить следующее:

На основании анализа диаграммы состояния «*Fe-Si-C*» и результатов структурных исследований медистых чугунов выявлены четыре характерных типа частиц  $\epsilon$ -*Си*, отличающиеся происхождением, размерами и формой. Наиболее крупные частицы образуются при расслоении расплава на две составляющие (обогащенные медью и железом) и при содержании меди в сплаве ~15 % имеют средний размер 20-30 мкм. Включения 2 и 3 типа формируются в  $\gamma$ -*Fe*. Включения 4 типа имеющие средний размер частиц 20 нм выделяются из  $\alpha$ -*Fe*. Также, зафиксированы кристаллы эвтектического цементита с частицами  $\epsilon$ -меди, выделившихся в виде ожерелий в приграничных слоях карбидов и предложен механизм, объясняющий их происхождение.

Введение меди сопровождается ростом микротвердости колоний пластинчатого перлита. Основные причины этого связаны с повышением дисперсности феррито-цементитной смеси, присутствием растворенных атомов меди в  $\alpha$ -железе, а также выделением упрочняющих наночастиц  $\epsilon$ -*Си* в ферритных промежутках колоний. Введение в заэвтектоидную сталь 9 % *Си* приводит к приросту предела прочности в условиях растяжения на 130 МПа.

Повышение содержания меди сопровождается снижением значений коэффициента трения скольжения заэвтектоидных сталей в графитизированном и не графитизированном состоянии, а также чугунов. Наличие в структуре сталей и чугунов, легированных медью, включений графита с развитой поверхностью оказывает положительное влияние на антифрикционные свойства сплавов. Наименьшими значениями коэффициента трения из исследованных в работе сталей обладает сплав, содержащий ~ 9 % *Си*. В отношении чугунов можно сделать вывод, о том, что оптимальное содержание меди в них составляет приблизительно 6 %.

Добавление меди в железоуглеродистые сплавы приводит к росту их относительной износостойкости в условиях трения о закреплённые частицы абразива. Эффект увеличения износостойкости, в первую очередь, объясняется повышением твёрдости материала при легировании медью.

### **Практическое значение результатов работы**



Результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы ориентированы на решение прикладных задач и обладают практической ценностью. Разработанные в ходе выполнения работы технические решения, ориентированные на разработку антифрикционных материалов, предназначенных для изготовления втулок, присутствующих, в частности, в тяжело нагруженных узлах трения скольжения горнодобывающих машин. На предприятии «Центролит-С» на основании рекомендаций, разработанных в ходе проведения исследования, были изготовлены втулки скольжения опорных катков экскаваторов ЭКГ-8. Апробация предложенных изделий на горнодобывающих предприятиях «Сорский ГОК» и ООО Горная компания «Майская» показала их высокую эффективность.

Результаты экспериментальных исследований способствовали разработке модификаторов на основе нанодисперсных порошков карбидов вольфрама и титана (патент RU2508249C1), применение которых позволяет на ~ 25 % повысить предел прочности чугунов, в том числе легированных медью.

В ходе диссертационной работы проведен глубокий анализ процесса выделения частиц  $\epsilon$ -Си различного типа, предложен механизм, объясняющий происхождение кристаллов цементита с частицами  $\epsilon$ -Си. Данные результаты диссертационной работы используются в учебном процессе в Новосибирском государственном техническом университете в лекционных курсах и лабораторных работах по дисциплинам «Материаловедение» и «Технология конструкционных материалов», а также при выполнении лабораторных работ в процессе подготовки бакалавров и магистров по направлениям «Материаловедение и технологии новых материалов» и «Наноинженерия».

**Достоверность научных положений, результатов и выводов, представленных, в диссертационной работе,** обеспечивается высоким уровнем используемого аналитического и испытательного оборудования. Приведенные в работе экспериментальные данные не противоречат результатам, полученным другими исследователями в области разработки антифрикционных материалов на основе железоуглеродистых сплавов, легированных медью. Результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах и докладывались на национальных и международных конференциях и семинарах.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует о целесообразности использования предложенных материалов, как сплавов антифрикционного назначения с повышенным уровнем износостойкости. Наиболее рационально их применение для изготовления крупногабаритных втулок скольжения, к которым применяются относительно невысокие требования по значениям скоростей трения. Особенности структуры, механических и триботехнических свойств, характерные для анализируемых материалов, предполагают возможность их эффективной эксплуатации в



присутствии абразивных частиц. Это качество может иметь особое значение при выборе анализируемых материалов для изготовления узлов трения крупных технологических горных машин.

Легирование медью в сочетании с алюминием является эффективным техническим решением, обеспечивающим повышение антифрикционных свойств высокоуглеродистых сплавов. Оптимальное содержание меди в чугуне антифрикционного назначения составляет 6 %, в стали заэвтектоидного состава – 9 %.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе в научно-образовательных учреждениях страны: Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск), Алтайский политехнический университет им. Ползунова (г. Барнаул), Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк), Уральский федеральный университет (г. Екатеринбург). Полученные результаты могут быть использованы в научных организациях, ориентированных на разработку новых материалов: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск), Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург), на промышленных предприятиях машиностроительного профиля.

#### **Замечания к диссертационной работе**

1. В работе не представлено обоснование выбора материалов, использованных для сравнения. Следует отметить, что антифрикционные показатели алюминиевой бронзы БрА9ЖЗЛ ниже, чем у оловянистых бронз.

2. В цели работы указано: «упрочнение компактными частицами меди», в тоже время в работе отмечается, что упрочнение обусловлено влиянием твердого раствора железа в меди. Нет ли здесь противоречия?

3. Из текста работы не ясно с чем связаны низкие значения коэффициента трения при низкой контактной нагрузке?

4. При описании триботехнических свойств автор оперирует величиной скорости вращения образца. В то же время более корректным показателем является линейная скорость.

#### **Заключение**

Диссертация Степановой Натальи Владимировны «Влияние меди на комплекс механических и антифрикционных свойств заэвтектоидных сталей и чугунов» имеет как научную, так и практическую ценность. Автореферат и публикации в научных изданиях подробно отражают содержание диссертационной работы. Выводы по диссертации являются полными, логичными и обоснованными.

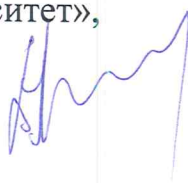
Диссертационная работа Н.В. Степановой полностью соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней (п. 9). В работе представлены новые научно обоснованные технические, технологические решения, направленные на получение антифрикционных

железоуглеродистых сплавов с высоким содержанием углерода, комплексно упрочненных компактными частицами на медной основе.

Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на научном семинаре Отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (протокол № 11 от «19 » ноября 2018 г.).

Руководитель ОМ ИШНПТ  
федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Национальный  
исследовательский Томский  
политехнический университет»,  
доктор технических наук,  
профессор





Клименов Василий Александрович

**Адрес организации:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

**Телефон:** +7 (3822) 70-16-13

**Email:** tpu@tpu.ru

Поступил в свет 27.11.2018  Тютин А.В.  
С одобрением декана 28.11.2018  Степанова Н.С.