

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Степановой Натальи Владимировны «**ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ**», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении)

1. Актуальность темы диссертации

Замена бронз в крупногабаритных подшипниках скольжения на более дешевые сплавы на основе железа является техническим решением, позволяющим существенно снизить затраты при производстве деталей данного типа. Необходимость повышения износостойкости втулок скольжения при эксплуатации в присутствии абразивной среды является дополнительным фактором для этой замены.

Поэтому направление диссертационных исследований связанное с поиском и обоснованием технических решений, обеспечивающих улучшение антифрикционных свойств сплавов на основе железа, следует признать *актуальным*.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В первом разделе диссертации проведен критический анализ научно-технической литературы (список литературы содержит 212 наименований) по проблемам, связанным с улучшением антифрикционных свойств материалов, из которых изготавливаются тяжело нагруженные узлы трения, используемые в различных областях промышленности. Рассмотрены вопросы, связанные с возможностью разработки экономичных антифрикционных материалов на основе железа, легированных медью, сформулированы задачи исследования.

На основании анализа источников Н.В. Степанова *обоснованно заключила*, что улучшить триботехнические свойства и повысить коррозионную стойкость чугунов, возможно за счет легирования их медью. Дополнительное легирование алюминием является решением, позволяющим увеличить растворимость меди в железе, активизировать механизм твердорастворного упрочнения и повысить прочностные характеристики материалов. Комплекс механических и триботехнических свойств железоуглеродистых сплавов, легированных медью, в значительной степени определяется присутствием в сплавах фазы ϵ -Cu. Особенности выделения ϵ -Cu в различных условиях обработки материалов до конца не выявлены. С учетом этого *обоснованно* сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во втором разделе описаны материалы, выбранные для проведения экспериментальных работ и методы их исследования. Описаны методы получения

отливок из графитизированных и неграфитизированных сталей с содержанием меди от 0 до 9 мас. %, и 1,2 мас. % Al, а также из чугуна, содержащего медь от 0 до 14,7 мас. % и 0,9 мас. % Al. Выбор способов обработки и методов анализа структуры осуществлен с четким соответствием поставленной цели и сформулированных задач.

Третий раздел Н.В.Степанова посвятила исследованию структурных изменений, происходящих при легировании железоуглеродистых сплавов медью. На основании проведенных работ представлена уточненная диаграмма состояния «Fe-Cu-C», построенная с применением программного обеспечения FactSage, приведены результаты рентгеноструктурного анализа. В ходе работы были выявлены четыре характерных типа частиц ϵ -Cu. Предложены схемы их формирования. Рассмотрены вопросы закалки и графитизирующего отжига чугунов, легированных медью.

В четвертом разделе представлены результаты механических и триботехнических испытаний графитизированных и неграфитизированных заэвтектоидных сталей, а также чугунов с различным содержанием меди. Автор *правомерно* показала:

- совместное легирование алюминием и медью представляет собой эффективный подход к решению проблемы повышения антифрикционных свойств заэвтектоидных сталей;

- наличие в структуре медистых сталей и чугунов включений графита с развитой поверхностью оказывает положительное влияние на антифрикционные свойства сплавов;

- добавление меди в высокоуглеродистые сплавы приводит к росту их относительной износостойкости в условиях трения о закреплённые частицы абразива.

Пятый раздел посвящен возможности практического применения полученных результатов. *Убедительно* показана, эффективность применения деталей из синтетического алюминиевого чугуна с добавками меди и наноразмерных модификаторов в условиях ООО «ЦЕНТРОЛИТ-С», ООО ГК «МАЙСКАЯ», ООО «СОРСКИЙ ГОК». Кроме того результаты исследований, полученные при выполнении диссертации, используются в учебном процессе, что подтверждено актом ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

3. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа изложена на 203 страницах основного текста, состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 212 наименований, 6 приложений. Работа содержит 62 рисунка и 2 таблицы. Особо следует отметить хорошее оформление работы и высокое качество иллюстративного материала.

Анализируя тексты диссертации, автореферата и сопоставляя их с работами соискателя, опубликованными по теме диссертации можно заключить, что

общие выводы и положения, сформулированные диссертантом, правомерны, логичны и вытекают из полученных экспериментальных данных. Все основные результаты, отраженные в диссертации, опубликованы автором в периодической (рецензируемой) печати и материалах конференций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

4. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе Н.В.Степановой впервые на основании исследований медистых чугунов выявлены четыре характерных типа частиц ϵ -Си, отличающиеся происхождением, размерами и формой. Частицы первого типа размерами 20...30 мкм образуются в высокотемпературном состоянии при расщеплении расплава на две составляющие. Включения второго типа размерами ~ 1...5 мкм формируются в γ -Fe при температуре выше 1094 °С и в момент образования находятся в жидком состоянии. Медистые частицы третьего типа, имеющие сферическую форму со средним размером ~ 200 нм, выделяются в твердом состоянии внутри зерен аустенита (1094...727 °С). Включения четвертого типа размерами ~ 20 нм выделяются в феррите перлитных колоний при температуре ниже 727 °С.

Методами структурного анализа обнаружены кристаллы цементита с частицами ϵ -меди размерами ~ 1...2 мкм, выделившимися в виде ожерелий в приграничных слоях карбидов. Предложен механизм, объясняющий их происхождение, в соответствии с которым рост кристаллов эвтектического цементита сопровождается отеснением меди и преимущественным ее выделением в виде микрообъемов фазы ϵ -Си по контуру карбидов.

Установлено, что рост прочностных свойств колоний пластинчатого перлита в легированных медью заэвтектоидных сталях и чугунах обусловлен повышением дисперсности феррито-цементитной смеси, выделением упрочняющих наноразмерных частиц ϵ -Си в ферритных промежутках колоний, а также растворением атомов меди в α -Fe. Определены концентрации, при которых проявляется эффект упрочнения.

Показано, что совместное легирование алюминием и медью представляет собой эффективный подход к решению проблемы повышения антифрикционных свойств и износостойкости чугунов и заэвтектоидных сталей. Наименьшими значениями коэффициента трения из исследованных в работе сталей обладает сплав, содержащий ~ 9 % Си. По уровню антифрикционных свойств легированные медью высокоуглеродистые сплавы являются промежуточными между чугуном АЧС-1 и бронзой БрА9Ж3Л. В условиях трения о закрепленные частицы абразива максимальным уровнем износостойкости, в 3,6 раза превосходящим стойкость бронзы БрА9Ж3Л, обладает медистый чугун.

Таким образом, *все положения и выводы, представленные в работе, являются новыми, достоверными, заслуживающими внимания, как с научной, так и с практической точек зрения.* Достоверность научных результатов, получен-

ных в работе, обеспечена корректным выбором современных методов исследования и согласованностью базовых положений диссертации с современными концепциями материаловедения.

5. Значимость результатов диссертации для науки и практики

В научном плане результаты, представленные в диссертационной работе Н.В.Степановой, показывают возможность повышения комплекса антифрикционных и механических свойств заэвтектоидных сталей и чугунов за счет легирования медью и алюминием. Легирование медью заэвтектоидных сталей и чугунов позволяет получить структуру с наноразмерными включениями ϵ -Cu, существенно повышающими комплекс антифрикционных и прочностных свойств материала.

В практическом плане автор предложила рекомендации по разработке антифрикционных материалов, предназначенных для изготовления втулок тяжело нагруженных узлов трения горнодобывающих машин. Из доэвтектического чугуна с ~ 6 % меди и ~ 1 % алюминия, характеризующегося оптимальным сочетанием механических и антифрикционных свойств, на предприятии «Центролит-С» 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.

По результатам исследований опубликовано 25 работ, из них 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 журналах, сборниках научных трудов и трудов международных и всероссийских научно-технических конференций, получен 1 патент Российской Федерации.

5. Замечания

1. Тезис о том, что рост скорости охлаждения, вызывающий увеличение дисперсности перлита, связан с изменением теплопроводности сплава (стр.86) не обоснован, т.к. исследования теплопроводности в диссертации не проводились.
2. Неправильная форма медистых включений, расположенных в пределах колоний ледебурита, объясняется автором (стр.91) их деформацией растущими кристаллами цементита. Однако известно, что эвтектика - результат совместной кристаллизации фаз при постоянной температуре. Говорить о том, что одна из фаз (пусть даже ведущая) затвердела первой и деформировала «каплю жидкого раствора на основе меди» не правомерно.
3. В условиях трения со смазкой значительную роль играет шероховатость поверхности, в диссертации это не рассматривается. Остается надеяться, что шероховатость во всех опытах (рис.4.9 – 4.12) была одинаковой.

4. На стр. 139 автор убеждает читателя о необходимости анализа износа не по удаленному объему металла, а по площади отпечатка, который оставляет изнашивающий индентор. Однако результаты исследования (стр. 140 рис. 4.13, стр. 141 рис. 4.14) показывают, что исследовался именно удаленный объем. Кроме того на этих рисунках не указаны погрешности измерений, что не позволяет судить о значимости результата при малых объемах изношенного металла. Чугун с 3% *Si* имеет лучшие характеристики износостойкости, чем чугун с 6.02% *Si* и т.д. Это значимо или нет?

5. В патенте №2508249, соавтором которого является Н.В.Степанова, указаны широкие возможности для изменения состава, но смеси без вольфрама не предусмотрены. В диссертации (стр.154) и автореферате (стр.15) есть ссылки на данный патент, однако в качестве модификатора вводился только карбид титана *TiC* (стр.154, 155). При чем же здесь патент?

Ряд ошибок можно отнести к досадным недоразумениям:

- на стр. 108 и 111 один абзац повторен два раза;
- стр.129, 130 - скорость скольжения не измеряется в об/мин;
- гл.5 стр.153, 154, 159 - перепутаны ссылки на приложения;
- стр. 108 - «Объемная доля аустенита достигает 69 %, что почти на 50 % больше по сравнению со сплавом, закаленным от 1000°С». Реально, по данным приведенным тремя абзацами ранее, доля аустенита больше в 3.67 раза(!);
- стр. 104 - «Анализ элементного состава отливки диаметром 82 мм из графитизированной заэвтектоидной стали с 8,76 % меди был выполнен на оптикоэмиссионном спектрометре *ARL-3460* в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.2.». На рисунке 2.2. схема не представлена. Дословно на стр.62 «Рисунок 2.2 – Схема шлифа, получаемого из цилиндрического образца для определения склонности чугуна к отбелу».

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы, научную и практическую значимость полученных автором результатов.

Заключение

По объему актуальности исследований, новизне результатов, их достоверности, научной и практической значимости диссертация Н.В.Степановой является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении). Работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Она содержит новые научно-обоснованные технические и технологические решения повышения комплекса антифрикционных и механических свойств заэвтектоидных сталей и чугунов за счет легирования медью и алюминием. Внедрение изложенных решений имеет существенное значение для развития страны.

Таким образом, считаю, что Н.В.Степанова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой металлургических
технологий НТИ (филиал) УрФУ, доктор
технических наук, доцент.

Шевченко Олег Игоревич

Подпись
заверяю

НАЧАЛЬНИК
ОБЩЕГО ОТДЕЛА УДИОВ
А. М. КОСАЧЕВ

Сведения:

Организация. Полное наименование: Нижнетагильский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина».

Сокращенное наименование: НТИ (филиал) УрФУ.


Адрес: 622031 г.Нижний Тагил, Свердловская область, ул. Касногвардейская, д.59.

Телефон: +7(3435)256500, **e-mail:** shevchenko_oleg@mail.ru

Сайт организации: <http://nti.urfu.ru/>

Должность: заведующий кафедрой металлургических технологий.

Ф.И.О. Шевченко Олег Игоревич.

Вступила в силу 27.11.2018  Игорь И. С.

С одобрением оформлена 28.11.2018 Инс - / Степанова Н.В.