

№ \_\_\_\_\_  
от \_\_\_\_\_



**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель проректора  
по науке

*[Signature]*  
А.В. Корелин

« 28 » 05 2026 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Климановой Анастасии Михайловны на тему «Влияние легирования фосфором на структурное состояние и свойства многокомпонентных латуней», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

### 1. Актуальность работы

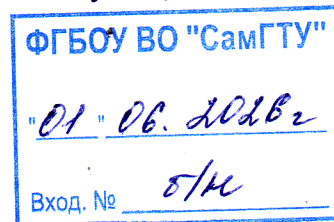
Диссертационная работа Климановой А.М. посвящена актуальной для материаловедения и цветной металлургии задаче управления структурно-фазовым состоянием многокомпонентных латуней системы Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Si путем дозированного легирования фосфором. Для деталей пар трения и элементов автомобильных трансмиссий, в том числе кованных заготовок колец синхронизаторов, существенное значение имеют стабильность фазового состава, сопротивление растрескиванию при горячей деформации, износостойкость и воспроизводимость свойств в производственных условиях.

Актуальность исследования определяется необходимостью совершенствования материалов с повышенной технологичностью и эксплуатационной надежностью, а также разработки составов малосвинцовых и бессвинцовых латуней, отвечающих

1

*С отзывом ознакомлена А.В. 06. 2026*

*[Signature]*



современным требованиям к экологической безопасности. В этом отношении рассмотрение фосфора не только как нежелательной примеси, но и как управляемого легирующего элемента является обоснованным и практически значимым направлением исследований.

## **2. Объем и содержание диссертации**

Диссертация изложена на 129 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 171 наименования и двух приложений, включает 47 рисунков и 25 таблиц. Структура работы соответствует поставленной цели и обеспечивает последовательное раскрытие темы: от анализа состояния вопроса и выбора объектов исследования до экспериментального изучения структуры, свойств и практической реализации полученных результатов.

Во введении обоснованы актуальность темы, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту. Введение показывает связь выполненной работы с задачами разработки и промышленного применения многокомпонентных латуней.

В первой главе приведен обзор литературных данных о составе, структуре, фазовых превращениях и свойствах сложнолегированных латуней. Рассмотрены функции основных легирующих элементов, особенности образования вторичных фаз и требования к материалам, работающим в условиях трения. Анализ состояния вопроса обосновывает необходимость специального изучения роли фосфора в системах Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Si.

Во второй главе описаны объекты исследования и методики эксперимента. Положительно следует отметить использование как промышленных, так и модельных составов, а также сочетание металлографического анализа, сканирующей электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа, измерения твердости, испытаний на обрабатываемость и износостойкость.

В третьей главе представлены результаты по влиянию фосфора на структурно-фазовое состояние исследованных латуней. Установлены особенности

формирования фосфидных, силицидных и силицидофосфидных включений, показано перераспределение легирующих элементов и влияние фосфора на соотношение  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз.

В четвертой главе рассмотрены свойства сплавов после термической обработки и горячей деформации. Полученные данные позволяют связать структурные изменения с твердостью, технологической обрабатываемостью и износостойкостью, а также выделить составы, перспективные для практического применения.

В пятой главе изложены результаты практической реализации исследования: предложены фосфорсодержащие латуни, разработаны технические условия и технологические рекомендации. Наличие акта внедрения подтверждает прикладную значимость выполненной работы.

### **3. Научная новизна**

Научная новизна диссертационной работы заключается в установлении закономерностей влияния дозированного легирования фосфором на структурно-фазовое состояние и свойства многокомпонентных латуней. Автором показано, что фосфор влияет на соотношение  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз, морфологию фосфидных, силицидных и сложных фосфорсодержащих включений, а также на перераспределение легирующих элементов между матрицей и вторичными фазами.

К числу наиболее значимых результатов относится выявление особенностей связывания фосфора с железом и марганцем, установление различной термической устойчивости силицидных и фосфидных включений, а также обоснование возможности формирования фосфорсодержащих латуней с заданным комплексом технологических и эксплуатационных свойств. Существенным является также установленный эффект при содержании около 0,10 мас. % P, сопровождающийся формированием метастабильной пластинчатой  $\alpha$ -фазы и повышением твердости без применения традиционной закалки.

#### **4. Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость работы состоит в развитии представлений о роли фосфора в сложнелегированных медных сплавах. Полученные результаты уточняют взаимосвязь между химическим составом, фазовым состоянием, морфологией вторичных включений и комплексом свойств многокомпонентных латуней. Работа показывает возможность перехода от эмпирического подбора состава к более целенаправленному управлению структурой и свойствами фосфорсодержащих латуней.

#### **5. Практическая значимость и ценность работы**

Практическая значимость диссертации состоит в разработке новых составов латуней ЛМцАЖНФ, ЛМцАЖНФ1 и ЛМцАЖКФС, подготовке технических условий и технологических рекомендаций, а также во внедрении результатов исследования в АО «АВТОВАЗ». Предложенные решения могут быть использованы при совершенствовании материалов для кованых заготовок колец синхронизаторов и других деталей трибологического назначения.

Наибольший прикладной интерес представляет возможность получения материалов с повышенной износостойкостью, стабильной твердостью и сниженной склонностью к растрескиванию при горячей деформации. Разработанные подходы к контролю химического состава и микроструктуры имеют значение для повышения воспроизводимости свойств в производственных условиях.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых составов латуней и технологических процессов в следующих организациях:

- АО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов» (г. Ревда) и АО «Кольчугинский завод специальных сплавов» (г. Кольчугино) – при производстве трубных заготовок из фосфорсодержащих латуней;

- ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (г. Москва) и Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва) – при проведении исследований в области разработки новых составов медных сплавов;

- НИТУ «МИСиС» (г. Москва), УрФУ (г. Екатеринбург), СамГТУ (г. Самара), Тольяттинский государственный университет – в учебном процессе при подготовке специалистов в области материаловедения.

## **6. Достоверность результатов исследования**

Достоверность результатов исследования обеспечивается корректной постановкой цели и задач, использованием представительной совокупности промышленных и экспериментальных сплавов, применением современных методов структурного, химического, механического и трибологического анализа, а также сопоставлением данных, полученных различными методами. Выводы по диссертации соответствуют представленным экспериментальным материалам и согласуются с известными положениями физического материаловедения медных сплавов.

## **7. Публикации и апробация основных результатов работы**

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 печатных работах, в том числе в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ и журналах, индексируемых в международной базе Scopus. Материалы диссертации прошли апробацию на российских и международных научных конференциях, а также отражены в патентах. Это свидетельствует о достаточной полноте представления результатов научному сообществу.

## **8. Замечания**

При общей положительной оценке диссертационной работы следует высказать следующие замечания:

1. В работе показано снижение твёрдости литых образцов с ростом содержания фосфора (за исключением концентрации 0,10 %), что объясняется увеличением доли пластичной  $\alpha$ -фазы. Однако из текста диссертации неясно, проводился ли количественный расчёт вкладов твёрдорастворного и зернограничного упрочнения в

суммарную твёрдость, что позволило бы строже интерпретировать наблюдаемую немонотонность.

2. При обсуждении термической стабильности фаз констатируется преимущественное связывание фосфора с марганцем и железом, но недостаточно полно раскрыта термодинамическая причина этого явления (например, в сравнении энергий Гиббса образования фосфидов и силицидов, а также по отношению к другим легирующим элементам — никелю, алюминию). Более детальное обоснование усилило бы доказательную базу работы.

3. В разделе, посвящённом обрабатываемости резанием, приведены данные о времени сверления. Для возможности переноса результатов на другие производственные участки целесообразно дополнить описание параметрами резания (скорость, подача, геометрия инструмента) и критериями оценки стружкообразования, либо износа режущей кромки.

4. Неоднократно рассматривается снижение склонности материала к растрескиванию при горячей деформации. Для большей убедительности целесообразно привести более формализованный критерий такой оценки: число испытанных заготовок, условия фиксации трещин, предельные деформации и характер разрушения.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, поскольку касаются в основном уточнения отдельных положений и возможных направлений дальнейших исследований.

## **9. Заключение**

Диссертационная работа Климановой Анастасии Михайловны на тему «Влияние легирования фосфором на структурное состояние и свойства многокомпонентных латуней» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача установления закономерностей влияния фосфора на структуру и свойства сложнолегированных латуней и предложены подходы к их практическому применению.

По актуальности, научной новизне, практической значимости, достоверности результатов, уровню апробации и полноте изложения диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение. Ведущая организация считает, что Климанова Анастасия Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Отзыв подготовил заведующий кафедрой литейного производства и упрочняющих технологий Сулицин Андрей Владимирович.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры литейного производства и упрочняющих технологий Института новых материалов и технологий УрФУ (протокол №5 от 28.05.20226 г.).

Заведующий кафедрой литейного производства и упрочняющих технологий, доктор технических наук, доцент

Сулицин  
Андрей Владимирович

Подпись Сулицина А.В. заверяю.

Ученый секретарь УрФУ

