

## ОТЗЫВ

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

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Климановой А.М. посвящена актуальной научно-технической задаче повышения структурной стабильности многокомпонентных латуней, применяемых для изготовления деталей пар трения, в том числе штампованных заготовок колец синхронизаторов коробки перемены передачи автомобилей. Актуальность выбранной темы определяется необходимостью управления фазовым составом и морфологией вторичных включений в сложнолегированных латунях, а также потребностью промышленности в материалах с более стабильными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Особую значимость работе придает практическая направленность исследования: автор рассматривает не только закономерности влияния фосфора на структуру и свойства латуней, но и возможность использования полученных результатов в реальном производстве. В условиях повышения требований к надежности деталей автомобильной трансмиссии и снижения содержания экологически нежелательных компонентов тема диссертации является своевременной и практически важной.

### Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 129 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 171 наименования и двух приложений, включает 47 рисунков и 24 таблицы. Структура работы логична и соответствует поставленной цели: от анализа состояния вопроса и выбора объектов исследования автор переходит к экспериментальному изучению фазовых превращений и изменений структуры, оценке свойств фосфорсодержащих латуней и обоснованию их промышленного применения.

В работе исследованы промышленные латуни ЛМцАЖН и ЛМцАЖКС, а также экспериментальные сплавы с различным содержанием фосфора. Использован комплекс взаимодополняющих методов: металлографический анализ, сканирующая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ, измерение твердости, испытания на обрабатываемость и износостойкость, а также оценка поведения сплавов после термической

С отзывом согласовано 26.05.2026

ФГБОУ ВО "СамГТУ"
"26" 05. 2026г
Вход. № 5/к

обработки. Такой методический подход позволяет рассматривать полученные выводы как достаточно обоснованные.

### **Краткий анализ содержания работы по главам**

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту. Введение в целом корректно задает логику работы и показывает связь выполненного исследования с задачами повышения качества многокомпонентных латуней, применяемых в деталях узлов трения.

В первой главе представлен анализ современного состояния вопроса: рассмотрены состав, структура и свойства сложнолегированных латуней, роль основных легирующих элементов, особенности формирования вторичных фаз, а также технологические и эксплуатационные требования к материалам для синхронизаторов. Обзор литературы позволяет обосновать выбор направления исследования и показывает недостаточную изученность регулируемого влияния фосфора в таких сплавах.

Во второй главе приведены сведения об объектах и методиках исследования. Достоинством главы является использование как промышленных, так и экспериментальных сплавов, а также сочетание металлографических, микрорентгеноспектральных, механических и трибологических методов, что обеспечивает комплексную оценку влияния фосфора на структуру и свойства материала. Автор подробно рассматривает возможные источники погрешностей выбранных методов исследований и испытаний, а также оценивает неопределённость и погрешности каждого метода.

В третьей главе рассмотрено влияние фосфора на структурное состояние латуней ЛМцАЖН и ЛМцАЖКС. Наиболее существенным является установление связи между содержанием фосфора, соотношением фаз, составом и морфологией фосфидных, силицидных и силицидофосфидных включений. Полученные результаты составляют основную научную часть диссертации.

В четвертой главе проанализированы свойства исследованных сплавов после термической обработки. Автор показывает влияние фосфора на твердость, обрабатываемость и износостойкость, а также обосновывает перспективность отдельных составов для получения требуемого комплекса технологических и эксплуатационных характеристик.

В пятой главе представлены вопросы практической реализации результатов исследования, включая разработку фосфорсодержащих латуней, технических условий и технологических рекомендаций. Глава подтверждает прикладную направленность работы и демонстрирует возможность использования полученных результатов в производственной практике.

Заключение содержит основные результаты и выводы, которые в целом соответствуют поставленным задачам и отражают как научную, так и практическую значимость диссертационного исследования.

### **Научная новизна и значимость результатов**

Научная новизна диссертационной работы состоит в установлении закономерностей влияния дозированного легирования фосфором на структурно-фазовое состояние и свойства многокомпонентных латуней системы Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Si. К наиболее существенным результатам следует отнести:

1. Экспериментальные данные о влиянии фосфора в диапазоне до 0,50 мас.% на соотношение  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз, морфологию силицидных, фосфидных и силицидофосфидных включений, а также на перераспределение легирующих элементов между твердым раствором и вторичными фазами.

2. Показано, что при малом содержании фосфора в промышленной латуни ЛМцАЖН он находится преимущественно в связанном состоянии в составе фосфидов  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{P}$  и оказывает влияние на форму и состав включений.

3. Установление различий в термической устойчивости фосфидных и силицидных включений, что имеет значение для выбора температурных режимов горячей деформации и термической обработки.

4. Выявление эффекта легирования фосфором около 0,10 мас.%, сопровождающегося формированием метастабильной пластинчатой  $\alpha$ -фазы и повышением твердости без применения традиционной закалки.

5. Обоснование возможности разработки новых фосфорсодержащих латуней с заданным комплексом свойств, включая сплавы с повышенной износостойкостью и сниженным содержанием свинца.

Полученные результаты расширяют представления о роли фосфора в многокомпонентных медных сплавах. Важно, что фосфор рассматривается автором не только как вредная примесь, но и как управляемый легирующий элемент, способный при регламентированном содержании изменять фазовое равновесие, морфологию включений и эксплуатационные свойства материала.

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость диссертации подтверждается тем, что результаты исследования доведены до уровня конкретных технических решений. Автором предложены фосфорсодержащие латуни ЛМцАЖНФ, ЛМцАЖНФ1 и ЛМцАЖКФС, разработаны технические условия и технологические рекомендации по получению кованных заготовок, а также подходы к контролю структуры и качества материала.

Отдельно следует отметить внедрение результатов работы в АО «АВТОВАЗ», подтвержденное актом внедрения. Это свидетельствует о применимости полученных научных результатов в производственной практике. Наибольший прикладной интерес представляет сплав ЛМцАЖКФС с повышенной износостойкостью и минимизированным содержанием свинца, что важно для деталей, работающих в условиях трения и смазочной среды.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

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

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научных изданиях, прошли апробацию на конференциях и отражены в патентных материалах. Это подтверждает достаточный уровень апробации и открытости полученных результатов.

**Автореферат** в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Работа представляет завершённый комплекс исследований, логично структурирована, соответствует паспорту специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки) в п. 1, 3 и 4.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе можно высказать следующие замечания:

1. Исследованию структуры сложнолегированных латуней марок ЛМцАЖН и ЛМцАЖКС посвящено множество работ российских исследователей, на многие из них автор ссылается в первой главе, но изображений микроструктур не приводит. Весьма странно, что в литературном обзоре диссертационной работы по специальности Материаловедение не приводятся структуры. Было бы наглядно показать уже имеющиеся сведения о структурах и фазовых превращениях при нагреве и охлаждении в этих сплавах для сравнения с полученными автором результатами исследований.

2. Общепринято, что поставленные цели должны соответствовать пунктам научной новизны, положениям, выносимым на защиту и выводам по работе.

Цель 1 уже выполнена, структурный анализ этих латуней был проведён ранее. Крайне неудачно сформулированы цели п. 2, 4 и 5 работы: нельзя в качестве цели указывать «исследование» или «оценку» чего-либо. Поставленные цели не согласуются с научной новизной, положениями, выносимыми на защиту и выводами.

3. Чрезмерно большое количество выводов по работе. Они очень мелкие по своей значимости, следовало сформулировать в более обобщённом виде, например объединить с точки зрения механизма формирования фосфидных включений, или влияния фосфора на структуру и свойства.

4. Недостатком работы является отсутствие результатов фазового рентгеноструктурного анализа. Для идентификации фаз необходимо определить тип кристаллической решётки и её параметры. Не понятно, на каком основании делается заключение о присутствии соединений  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{P}$ ? Одного химического состава для этого не достаточно. Силициды в этих латунях имеют формулу  $(\text{Fe}, \text{Mn})_5\text{Si}_3$  и кристаллическую решётку гексагональной сингонии структурного класса  $D_{8h}$ . При легировании фосфором этот тип кристаллической решетки сохраняется? Как меняются параметры решётки?

5. Автор пишет о стабилизации структуры исследованных латуней после отжига при  $400 - 450^\circ\text{C}$ , но нигде не объясняется, какие именно превращения происходят. Рисунки 31 – 37 приведены без каких-либо пояснений.

6. Для анализа фазовых превращений в сплавах обычно используют дилатометрический и калориметрический анализы, но в этой работе такие исследования не выполняли. Можно было воспользоваться уже имеющимися сведениями о температурах фазовых превращений в этих латунях, опубликованных ранее.

7. Стандартные промышленные сплавы ЛМцАЖН и ЛМцАЖКС являются деформируемыми, первоначально из них прессуют трубные заготовки, затем нарезают кольцевые заготовки и штампуют кольца синхронизатора. В работе рассмотрены литые сплавы с фосфором и не рассмотрена их способность к горячей пластической деформации. Возможно, при определённой концентрации фосфора предлагаемая автором технология горячейковки колец из литых сплавов будет невозможна из-за растрескивания.

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

### **Заключение**

Диссертационная работа Климановой Анастасии Михайловны «Влияние легирования фосфором на структурное состояние и свойства многокомпонентных латуней» является самостоятельной и завершённой

научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему в области материаловедения. В работе получены новые научно обоснованные результаты, имеющие значение для понимания закономерностей формирования структуры и свойств фосфорсодержащих многокомпонентных латуней, а также для разработки материалов с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Тематика и содержание диссертации соответствуют специальности 2.6.17. Материаловедение. 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.

Считаю, что Климанова Анастасия Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

«22» мая 2026 г.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
главный научный сотрудник лаборатории  
микромеханики материалов  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института машиноведения  
имени Э.С. Горкунова Уральского отделения  
Российской академии наук

Пугачева Наталия  
Борисовна

Подпись Пугачевой Н.Б. заверяю:  
ученый секретарь ИМАШ УрО РАН

Привалова В.В.



**Контакты:**

Почтовый адрес: 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34

Тел.: +7 (950) 635-30-04

Эл. почта: nata5-4@yandex.ru; nat@imach.uran.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН)