

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»
кандидат технических наук, доцент
Петерайтис Сергей Ханцасович

_____ 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» на диссертационную работу Молочковой Ольги Сергеевны «Комплексное воздействие легирования, микролегирования, модифицирования и условий охлаждения при кристаллизации на структурно-фазовое состояние и свойства жароизносостойких белых чугунов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертационной работы

Внедрение в производство multifunctional конкурентоспособных материалов, обладающих повышенной прочностью и рядом специальных свойств, является одной из приоритетных задач современного металловедения. Эти материалы должны обеспечивать длительную и надежную работу изделий в самых разнообразных условиях на протяжении всего заданного срока эксплуатации. Несмотря на обилие литературных данных по оптимизации составов комплексно-легированных белых чугунов функционального назначения, достаточно и систематически не исследовано влияние легирующих элементов на процессы кристаллизации и структурообразования, механические и эксплуатационные (жаростойкость, износостойкость) свойства этих чугунов в литом состоянии. Особенно это касается условий формирования различных эвтектик и карбидной фазы при наличии в составе чугуна нескольких карбидообразующих элементов и модификаторов. Ежегодно ужесточаются требования потребителей данной продукции, затраты на ее изготовление при современном уровне литейного производства весьма значительные (эти затраты связаны с вынужденным применением дорогостоящих легирующих элементов – Ti, B, V, W и др.). Для решения этих проблем требуется изыскание новых принципов создания комплексно-легированных белых чугунов с высоким комплексом механических и разнообразных специальных характеристик.

Таким образом, сформулированные в диссертационной работе Молочковой О.С. теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, которое заключается в разработке новых принципов создания жароизносостойких белых чугунов для изготовления отливок различного функционального назначения с высоким комплексом специальных свойств, являются актуальными для современного металловедения.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	Дата регистрации <u>18.09.2025</u>
Фамилия регистратора _____	

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертационная работа имеет классическую структуру и состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованной литературы из 277 наименований, 5 приложений на 8 страницах, изложена на 226 страницах машинописного текста, включает 98 рисунков, 52 таблицы. Структура диссертации отражает решение поставленных в диссертационной работе задач, обеспечивая достижение цели диссертационного исследования.

Во введении раскрыта актуальность рассматриваемой научной проблемы по теме диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, логическая структура диссертации. Изложена информация о степени достоверности результатов работы, личном вкладе автора и апробации результатов исследований.

В первой главе рассмотрены теоретические подходы к созданию сложнолегированных белых чугунов, представлен анализ факторов, определяющих высокий комплекс механических и специальных свойств чугунов. Раскрыты вопросы модифицирования и микролегирования чугунов, механизмов кристаллизации в отливках. Обозначены основные факторы, определяющие использование комплексно-легированных белых чугунов для изготовления литых деталей специального назначения, области применения этих сплавов.

Во второй главе изучены зависимости, характеризующие влияние химического состава сплава и условий охлаждения при кристаллизации на химический состав фаз и структурных составляющих, морфологию и тип эвтектик, тип металлической основы, морфологию первичных, эвтектических карбидов, твердость, износостойкость, окалиностойкость и ростоустойчивость сплавов системы Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti. Разработана схема закономерностей формирования структуры и свойств КЛБЧ в зависимости от условий охлаждения при затвердевании и химического состава сплавов системы Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti.

В третьей главе приведен комплексный анализ сплавов Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al, Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Nb, Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb, установлено влияние химического состава сплавов и условий охлаждения на химический состав фаз и структурных составляющих, морфологию и тип эвтектик, тип металлической основы, морфологию первичных, эвтектических карбидов, механические и специальные свойства сплавов.

В четвертой главе определено влияние добавок бора и условий охлаждения при затвердевании на структуру и свойства комплексно-легированных белых чугунов систем Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti, Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb.

В пятой главе приведены результаты модифицирования кальций-стронциевым карбонатом сложнолегированных белых чугунов систем Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti и Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb.

В шестой главе установлены основные принципы рационального легирования и модифицирования комплексно-легированных белых чугунов для обеспечения высоких показателей специальных свойств.

Каждая из глав диссертации выполняет решение одной или двух поставленных задач, которые подчинены единой цели: разработке и научном обосновании технических решений создания новых жароизносостойких белых чугунов и повышение их свойств путем легирования, микролегирования и модифицирования высокоактивными элементами.

Оформление диссертации выполнено в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Оценка новизны проведенных исследований и полученных результатов

Наиболее значимыми результатами, полученными лично автором диссертации, следует считать:

1) требования к базовому составу сплавов системы Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti для получения жароизносостойких материалов с высоким комплексом специальных свойств;

2) пути повышения специальных свойств сплавов системы Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti за счет дополнительного легирования ниобием и алюминием, микролегирования бором и модифицирования кальций-стронциевым карбонатом;

3) математические зависимости, описывающие связь между химическим составом, структурными параметрами, условиями охлаждения при затвердевании и твердостью, износостойкостью и жаростойкостью чугунов, которые могут использоваться для разработки новых жароизносостойких сплавов систем Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti и Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb с высоким уровнем специальных свойств: окалинотойкостью, ростоустойчивостью и износостойкостью;

4) структурно-наследственная связь оксидных слоев с распределением легирующих элементов в поверхностном слое и первичной литой структурой сплавов;

5) новые научные данные о влиянии бора на структуру и свойства КЛБЧ. Показано, что бор влияет на превращения в твердом состоянии – происходит вторичное твердение при охлаждении сплавов в литейной форме с выделением дисперсных карбидов типа MC и M_7C_3 в зависимости от системы легирования. Определено, что условия охлаждения при затвердевании оказывают существенное влияние на эффективность действия бора, как микролегирующей добавки;

6) обработка чугунов кальций-стронциевым карбонатом повышает специальные свойства жароизносостойких чугунов. Определено необходимое количество карбоната для сплавов разных систем легирования, обеспечивающее стабильный модифицирующий эффект;

7) эвтектики, кристаллизующиеся в интервале температур, имеют переменный состав в зависимости от скорости охлаждения, что напрямую влияет на конечную структуру и свойства КЛБЧ и позволяет управлять ими при получении литых изделий различной массы и толщины стенки;

8) аналитические схемы закономерностей формирования структуры и свойств в зависимости от условий охлаждения при затвердевании и химического состава сплавов для следующих систем легирования: Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Nb; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-B; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb-B; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti+(Ca, Sr)CO₃; Fe-C-Si-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb+(Ca, Sr)CO₃.

Каждый из полученных результатов является новым или обладает элементами новизны, является научно обоснованным и направлен на разработку принципов создания литых жароизносостойких белых чугунов с высоким комплексом специальных свойств.

Достоверность и обоснованность результатов и научных выводов работы обеспечены применением комплекса стандартных и современных методов исследования; согласованностью результатов лабораторного и промышленных экспериментов; большим объемом выполненных экспериментальных данных с их статистико-вероятностной обработкой и воспроизводимостью результатов эксперимента; точностью формулировок, отсутствием противоречий с результатами, полученными другими исследователями. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается широким обсуждением результатов диссертации на национальных и международных конференциях, семинарах и в открытой печати: 13 статей в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (из них 2 статьи без соавторов), 4 статьи проиндексированы в наукометрических базах Scopus и Web of Science, в других изданиях опубликовано 24 работы. Получен 1 патент на новый состав жароизносостойкого чугуна. Опубликовано 2 монографии.

Анализ содержания основных разделов диссертационной работы свидетельствует о полноте и научной обоснованности проведенного автором исследования в теоретическом и экспериментальном направлениях.

Значимость результатов, полученных в диссертационной работе, для науки и практики

Результаты диссертационной работы Молочковой Ольги Сергеевны использованы:

- в условиях ООО «Буруктальский металлургический завод (г. Светлый)» проводились производственные испытания экспериментальной брони желоба агломерата, изготовленной из легированного чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ. Проведенными испытаниями установлено, что к моменту планового ремонта агломерационной машины брони из ранее применяемых сплавов имеют сквозные дыры диаметром до 190 мм, а бронь, изготовленная из чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ, оказалась более стойкой к износу при высоких температурах;

- на предприятии ПАО «Гайский ГОК» из разработанного состава белого износостойкого чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ были изготовлены облицовочные плиты, идущие на комплектацию тушильных вагонов для коксохимического производства. Это позволило значительно продлить срок эксплуатации облицовочных плит (более чем в два раза), что привело к сокращению количества текущих и капитальных ремонтов самих тушильных вагонов;

- на предприятии ЗАО «Южуралвтормет» (г. Челябинск) проводились промышленные испытания колосников спекательных тележек, изготовленных из комплексно-легированного белого чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ. Применение нового состава чугуна для данного типа отливок увеличило срок их службы более чем в 2 раза. Увеличение срока эксплуатации, снижение трудоемкости изготовления колосников, а также сокращения количества ремонтов спекательных тележек позволило получить экономический эффект более 2 млн. рублей в год;

- в условиях предприятия ООО «УралЭнергоРесурс» проведены производственные испытания экспериментальных образцов конус-клиньев, отлитых из белого чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТР. Применение нового чугуна для данного типа отливок увеличило несущую способность до 90 кН, срок службы более, чем в 2 раза и исключило потерю несущей способности вследствие увеличенных физико-механических свойств. При этом достигаемый экономический эффект при изготовлении обеспечил сокращение себестоимости изделия на 30%, а также дополнительный эффект для горнодобывающих предприятий за счет сокращения количества объемов перекрепки и восстановления анкеров.

- в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при подготовке обучающихся по направлениям 22.03.02 «Металлургия», 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», что подтверждено актом.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты, полученные в диссертационной работе Молочковой О.С., можно рекомендовать к использованию на металлургических и машиностроительных предприятиях: ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ПАО «Уралмашзавод», ПАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», ПАО «Мечел», ООО «Златоустовский металлургический завод», ПАО «Северсталь» и др.

Замечания по диссертационной работе

1. В цели работы отмечается про легирование, микролегирование и модифицирование высокоактивными элементами. С модифицированием высокоактивными элементами, а это – ЦМ, ЦЗМ и РЗМ – можно согласиться, однако легирование, микролегирование высокоактивными элементами – спорное утверждение. Главное отличие модифицирования от легирования в том, что содержание модифицирующего элемента снижается со временем практически до нуля (эффект старения, увядания), а содержание легирующего элемента сохраняется практически постоянным. Далее в работе отмечается про применение в качестве легирующих таких карбидообразующих элементов как Cr, Mn, Ni, Ti, Nb, которые, строго говоря, не относятся к высокоактивным (окисляющимся на открытом воздухе и т.д.).

2. Задача 3. Необходимо уточнить о каких именно защитных свойствах оксидных слоев идет речь: износостойких, задиростойких, окалиностойких и т.д.

3. Стр. 7. Отмечается про раскисление чугуна алюминием в ковше перед разливкой. Непонятно для чего оно проводится, если в составе чугуна априори присутствуют все необходимые раскислители, в частности, Si и Mn. Или же ставилась задача обеспечить достаточно глубокое раскисление? Тогда до какой степени и зачем?

4. Стр. 8. Почему в качестве сравнительного эталона износостойкости выбрана сталь 45, не являющаяся износостойким материалом.

5. Стр. 17. При температурах выше 800°C не сами ферритные хромистые стали настолько теряют жаропрочность, что часто прогибаются под собственным весом, а конструкции и узлы, изготовленные из этих сталей.

6. Стр. 20. Насколько, в какой степени влияет на себестоимость проведение после закалки двух-, трехкратного отпуска?

7. Стр. 21. Высокохромистый чугун назван природным. То есть он действительно встречается в дикой природе?

8. Стр. 25. Кремний способствует образованию не перлита, а феррита.

9. П. 1.5. Модифицирование является синонимом инокулирования, поэтому в названии подраздела необходимо оставить что-то одно.

10. Стр. 37. Еще раз про разницу между модифицированием и легированием. Отличие заключается не только в стадийности, но во временном факторе.

11. Стр. 44. К модифицирующим элементам также относятся цирконий и РЗМ.

12. Стр. 52. В чем разница между повышенными и высокими температурами?

13. Стр. 53. Переменный нагрев и охлаждение, чередование нагрева и охлаждения носит термин – термоциклирование.

14. В задаче №6 речь идет о разработке только одного состава нового жароизносостойкого чугуна. Это как пример практического применения оптимального химического состава?

15. В обозначении систем чугунов разделов 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2, главы 4, выводов по главе 4, главы 5 и др. местах по тексту пропущены железо (Fe), углерод (C), кремний (Si).

16. С. 137. А может быть наоборот – при неровной поверхности карбидов за счет своих выступов они лучше удерживаются в металлической основе?

17. Чем можно объяснить, см. табл. 3.14, 4.2-4.4, 4.7, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, рис. 4.20 и др. места, различные тенденции повышения или понижения структурных параметров чугунов, залитых в сухую и сырую ПГФ и кокиль, см. табл. 3.16, различные тенденции или отсутствие тенденций повышения или понижения содержания химических элементов по глубине?

18. С. 142. Укрупнение карбидов и уменьшению их объемной доли – это процесс коагуляции, но не старение или перемодифицирование. Старение и перемодифицирование – это разные процессы.

19. На с. 173 и 174 информация про диссоциацию кальций-стронциевого карбоната повторяется.

20. Общее замечание – работа не структурирована по части отдельного выделения методической главы, из-за чего эта информация размыта по всем главам, а также в части информации из чужих литературных источников, перемежающейся вместе с собственными результатами. Все ссылки на чужие литературные источники необходимо перенести в 1-ю главу. В остальных главах – только собственные результаты, при этом допускаются ссылки на собственные литературные источники.

В целом, отмеченные замечания носят дискуссионный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования и не влияют на теоретическую и практическую значимость полученных результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационное исследование Молочковой О.С. является законченной научно-квалификационной работой, в котором разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, которое заключается в разработке новых принципов создания жароизносостойких белых чугунов для изготовления отливок различного функционального назначения с высоким комплексом специальных свойств. Работа выполнена на высоком теоретическом и методическом уровнях, результаты работы использованы на промышленных предприятиях и внедрены в учебный процесс.

Результаты, полученные в диссертационной работе, соответствуют поставленной цели и задачам, систематизированы и представлены в виде таблиц, графиков и схем.

Диссертационная работа Молочковой О.С. соответствует паспорту научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а именно: п. 1 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов»; п. 3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния разнородных структур, в том числе кооперативного, на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование»; п. 4 «Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий на изменение структуры и свойств металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование»; п. 7 «Изучение взаимодействия металлов и сплавов с внешними средами в условиях работы различных технических устройств, оценка и прогнозирование на этой основе работоспособности металлов и сплавов»; п. 8 «Исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях, выбор и рекомендация наиболее экономичных и надежных металлических материалов для конкретных технических назначений с целью сокращения металлоемкости, увеличения ресурса работы, повышения уровня заданных физических и химических характеристик деталей машин, механизмов, приборов и конструкций».

На основании вышеизложенного можно утверждать, что диссертационная работа Молочковой Ольги Сергеевны «Комплексное воздействие легирования, микролегирования, модифицирования и условий охлаждения при кристаллизации на структурно-фазовое состояние и свойства жароизносостойких белых чугунов» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, п. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор – Молочкова О.С. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа и автореферат Молочковой О.С., а также отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы» института машиностроения, химии и энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти.

Результаты голосования: за – 14 человек, против – нет, воздержались – нет. Протокол заседания кафедры №2 от 10 сентября 2025 г.

Отзыв составлен:

Доктор технических наук,
доцент, профессор кафедры
«СОМДиРП» ИМХиЭ ТГУ,
докторская диссертация
защищена по специальности
05.16.09 Металловедение

Болдырев Денис Алексеевич

Доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«СОМДиРП» ИМХиЭ ТГУ,
докторская диссертация
защищена по специальности
05.16.01 Металловедение и
термическая обработка
металлов и сплавов

Клевцов Геннадий Всеволодович

Мы, Болдырев Д.А., Клевцов Г.В., даем согласие на обработку наших персональных данных.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»
ФГБОУ ВО «ТГУ»

Адрес: Россия, 445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, д. 14

Тел./факс: +7 (8482) 44-94-24, 44-94-44

E-mail: office@tltsu.ru

<https://www.tltsu.ru>



Болдырева Д.А.
ЗАВЕРЯЮ
Начальник
отдела управления персоналом
Клевцова Г.В.
Кондратов С.Н.
20 ____ г.