

Отзыв

официального оппонента Банных Игоря Олеговича 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», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Белые чугуны, являясь одним из старейших классов конструкционных материалов, используемых в различных отраслях промышленности, по-прежнему сохраняет свою актуальность благодаря удачному сочетанию таких свойств и характеристик как высокая твердость, износостойкость, устойчивость к коррозии, теплопроводность, жаропрочность, которые определяют их экономическую эффективность. Повышение комплекса физико-механических и специальных свойств белых чугунов возможно в первую очередь путём воздействия на их структурно-фазовое состояние путём модификации химического состава и выбора оптимальных режимов кристаллизации расплава. Таким образом работа, представленная О.С. Молочковой, является **актуальной**.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и приложений, изложена на 226 страницах, список литературы содержит 277 литературных источников.

Во введении раскрываются актуальность, цели и задачи диссертационной работы. Показана научная новизна полученных результатов и обоснована их практическая значимость. Представлены сведения о степени достоверности работы, личном вкладе автора и апробации результатов исследований.

В первой главе содержится обзор литературных данных в области разработки и применения многофункциональных комплексно-легированных белых чугунов. Рассмотрены вопросы модифицирования состава и микролегирования чугунов, режимов кристаллизации отливок, формирующих высокий комплекс физико-механических и специальных свойств чугунов.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за №	_____
Дата регистрации	10.10.2025
Фамилия регистратора	_____

Показаны области применения технологические особенности комплексно-легированных белых чугунов для изготовления литых деталей и конструкций.

Во второй главе раскрываются зависимости между составом легирующих элементов белых чугунов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti, режимами кристаллизации отливок, их структурно-фазовым состоянием, включая морфологию эвтектик и карбидных фаз и служебными свойствами: износостойкостью, окалиностойкостью и ростоустойчивостью. Установлено, что для чугунов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti фазовый состав представляет собой γ -фазу (аустенит), карбиды типа M_7C_3 и карбиды типа MC. Во всех сплавах формируется двойная эвтектика $\gamma+M_7C_3$ и карбиды титана TiC. Получены математические зависимости, описывающие связь химического состава, твёрдости, износостойкости и жаростойкости чугунов, кристаллизовавшихся с различными скоростями охлаждения, коэффициенты весового влияния легирующих элементов на параметры микроструктуры, механические и специальные свойства чугунов. Предложен оптимальный состав жароизносостойкого чугуна при следующем содержании компонентов, мас. %: 2,1-2,2 C; 4,5-5,0 Mn; 18,0-19,0 Cr; 1,0-1,2 Ni; 0,4-0,5 Ti.

В третьей главе устанавливаются закономерности, влияния химического состава и условий охлаждения на химический состав фаз и структурных составляющих, морфологию и тип эвтектик, тип металлической основы, морфологию первичных, эвтектических карбидов и на твердость, износостойкость, окалиностойкость, ростоустойчивость белых чугунов систем легирования Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al, Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Nb, Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb. Показано, что следует поддерживать содержание алюминия в пределах 2,0-2,5%. Снижение концентрации Al приводит к падению окалиностойкости, а введение более 2,5% Al уменьшает ростоустойчивость чугуна за счет повышения доли феррита в структуре. Введение 1,5% Nb повышает окалиностойкость сплавов. Дальнейшее повышение содержания ниобия в сплаве от 1,5 до 3% приводит к росту доли феррита в металлической основе, снижению хрома в твердом растворе и, как следствие, эти изменения приводят к снижению окалиностойкости и ростоустойчивости. Целесообразно применять совместное

легирование алюминием и ниобием жароизносостойких комплексно-легированных белых чугунов так как раздельное легирование чугунов алюминием и ниобием не позволило одновременно достичь высоких показателей окалиностойкости, ростоустойчивости и износостойкости.

В четвертой главе определено влияние микролегирования бором в количестве 0,0046-0,036% и условий кристаллизации на структуру и свойства комплексно-легированных белых чугунов систем Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti, Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb. Показано, что при добавке бора 0,02%: для сплавов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-B происходит увеличение износостойкости на 22–30%, окалиностойкости в 3 раза, ростоустойчивости на 22-30% и твердости на 19–25%. Для сплавов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb-B износостойкость повышается на 15%, окалиностойкость на 17–47%, твердость в среднем на 12%, рост равен нулю.

В пятой главе изложены результаты модифицирования кальций-стронциевым карбонатом комплексно-легированных белых чугунов систем Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti и Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb. Сравнительные исследования влияния двух видов обработки – совместного легирования алюминием и ниобием и модифицирования карбонатом показали, что в результате дополнительного легирования происходит более эффективное повышение всех специальных свойств по сравнению только с обработкой карбонатом.

В шестой главе установлены основные закономерности рационального легирования и модифицирования комплексно-легированных белых чугунов для обеспечения высоких показателей специальных свойств. Показано, что при разработке комплексно-легированных жаростойких чугунов, целесообразно использовать в качестве основы для легирования систему Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti при следующем содержании компонентов, мас. %: 2,0–2,3 C; 3,5–5,0 Mn; 18,0–19,0 Cr; 1,0–1,2-Ni; 0,4–0,5 Ti с аустенитной металлической основой. Экспериментально установлено, что для повышения уровня окалиностойкости, износостойкости и ростоустойчивости необходимо применять дополнительное легирование сплавов ниобием и алюминием. Повышение специальных свойств сплавов достигается при добавке бора 0,02%.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе О.С. Молочковой, не вызывает сомнений. **Достоверность полученных результатов** подтверждается применением общепризнанных методов исследования структурно-фазового состояния, химического состава и специальных свойств материалов с использованием современного оборудования. Полученные результаты не противоречат известным литературным данным и согласуются между собой.

Научная новизна результатов диссертационной работы. В диссертационной работе О.С. Молочковой представлены новые сведения о формировании структурно-фазового состояния и комплекса специальных свойств комплексно-легированных жаростойких чугунов в зависимости от легирования, модифицирования и режимов кристаллизации.

Сформулированы основные требования к базовому составу сплавов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti для получения жароизносостойких материалов с высоким комплексом специальных свойств за счет создания гетерофазной структуры, состоящей из стабильной аустенитной металлической основы и упрочняющих фаз.

Показаны возможности повышения специальных свойств сплавов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti путем дополнительного легирования ниобием и алюминием, микролегирования бором и модифицирования кальций-стронциевым карбонатом.

Впервые получены ряды влияния параметров микроструктуры на свойства чугунов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-Al-Nb, позволяющие определить эффективность влияния легирующих элементов на твердость и специальные свойства сплавов

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

Практическая значимость работы подтверждается актами внедрения ПАО «Гайский ГОК», ООО «Буруктальский металлургический завод, ЗАО «Южуралвормет», ООО «УралЭнергоРесурс», патентом РФ № 2777733, С22С 37/06. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

По диссертационной работе О.С. Молочковой имеются следующие замечания:

1. Среди использованных в работе литературных источников малое количество современных и зарубежных публикаций, вследствие чего из рассмотрения выпадают актуальные данные по легированию, модифицированию и структурно-фазовому состоянию жаро-, износостойких белых чугунов.
2. Ограничен выбор методик проведения экспериментов, из рассмотрения выпадает кинетика процессов образования окалины и формирования специальных свойств (износостойкость). Поскольку рабочие условия рассматриваемых в работе материалов подразумевают одновременное, протяженное во времени воздействие высокой температуры и абразивного износа, для лучшего понимания закономерностей влияния структурно-фазового состояния на свойства, при проведении эксперимента следовало бы определять структуру, фазовый состав, состав, глубину слоя окалины и износостойкость на одном образце.
3. В экспериментальных данных практически отсутствуют погрешности измерения и сведения о количестве исследованных образцов.
4. В работе в значительном объёме представлены данные локального рентгеноспектрального анализа. Однако при использовании данной методики следует с осторожностью относиться к количественному содержанию лёгких элементов, таких как кислород, углерод, бор, определение которых, в силу физических основ этого метода, приводит к высокой погрешности измерения. Для оценки состава неметаллических фаз целесообразно рассматривать содержание элементов в атомных процентах.

5. Предложенный на стр 162-163 диссертации механизм влияния бора на твёрдость структурных составляющих чугуна при замещении атомов углерода представляется спорным и не подтверждён какими-либо структурными исследованиями: вследствие более высокого сродства к углероду бор будет предпочтительно заменять железо, а не углерод в Fe-C сплавах. Большой размер атома бора по сравнению с углеродом будет приводить не к уменьшению, как это утверждается в работе, а к увеличению параметра кристаллической решётки при замещении им углерода. Следует отметить, что атомы углерода, замещённые бором, не обязательно будут участвовать в образовании карбидов, но могут находиться в твердом растворе в той или иной концентрации.
6. При проведении рентгеноструктурного анализа не определялись параметры кристаллической решётки структурных составляющих, что могло бы дать информацию о перераспределении элементов, особенно внедрения, в структурных составляющих рассматриваемых чугунов.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы в целом и её научной и практической значимости.

Диссертационная работа Молочковой Ольги Сергеевны является законченным научным исследованием, в котором получены новые научные знания о формировании структурно-фазового состояния и комплекса специальных свойств комплексно-легированных жаростойких чугунов в зависимости от легирования, модифицирования и режимов кристаллизации. Диссертационная работа имеет прикладное значение и соответствует отрасли технических наук по специальности 2.6.1. - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Автореферат и публикации автора правильно и достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа «Комплексное воздействие легирования, микролегирования, модифицирования и условий охлаждения при кристаллизации на структурно-фазовое состояние и свойства жароизносостойких белых чугунов» соответствует критериям, установленным

Положением о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842 (пункты 9-14), а ее автор, Молочкова Ольга Сергеевна достойна присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент,

доктор технических наук

(05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов),

член-корреспондент РАН,

заведующий лабораторией

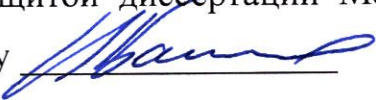
Конструкционных сталей и сплавов,

ведущий научный сотрудник

ИМЕТ РАН

09.10.2025

Банных Игорь Олегович

Я, Банных Игорь Олегович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Молочковой Ольги Сергеевны, и их дальнейшую обработку 

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН).

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49.

Телефон: +7 (499) 135-44-94.

E-mail: ibannykh@imet.ac.ru,

Подпись Банных И.О. заверена:

Учёный секретарь ИМЕТ РАН

К.Т.Н



Фомина О.Н.