

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

КОВАЛЬКО Михаила Сергеевича «Высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

1. Соответствие содержание диссертации отрасли науки и специальности

Диссертация Ковалько М.С. посвящена разработке научно-обоснованных составов высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью и оригинальных технологий их термической обработки.

Данная тематика относится к техническим науками и специальности. 05.16.01 – материаловедение (машиностроение).

Указанные исследования, содержание диссертации в целом, а также положения, выносимые на защиту, соответствуют области исследований п. III 4 «Разработка физико-химических и физико-механических основ процессов формирования новых материалов с уникальными комплексами свойств»

(Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 18 декабря 2017 г. № 292).

2. Актуальность темы диссертации

Чугун, являясь одним из древнейших сплавов, в настоящее время переживает настоящий ренессанс. По ряду технико-экономических показателей чугунные изделия имеют существенные преимущества по сравнению со стальными. Подтверждением этого является расширяющееся применение специальных чугунов в различных отраслях промышленности. В промышленности достаточно широко используются высокопрочные чугуны с шаровидным графитом.

Есть основания полагать, что потенциальные возможности современных чугунов далеки от предела. Ярким примером таких чугунов являются бейнитные чугуны, активно разрабатываемые и применяемые последние десятилетия. Следует отметить, что чугуны, особенно легированные, являются самыми сложными железо-углеродистыми сплавами. Большое разнообразие фаз, структур, наличие эвтектического, эвтектоидного, полиморфного превращений сильно затрудняет понимание структурно-фазовых превращений и разработку новых сплавов. С другой стороны, это разнообразие предопределяет колоссальные возможности научно-обоснованного конструирования новых высокоэффективных сплавов.

Поэтому, актуальным и перспективным направлением научно-технических исследований является научно-обоснованная разработка составов специальных высокопрочных чугунов с аномальной бейнитной матрицей для изделий с повышенными эксплуатационными свойствами и оригинальных технологий их термической обработки.

3. Степень новизны полученных в диссертации результатов и научных положений, выносимых на защиту

Новизна результатов, представленных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту, заключается в:

-- установлении влияния комплексного легирования (Cu, Mo, Cr, B, Al) на кинетику изотермических структурных превращений специальных чугунов, что позволило научно обосновать составы чугунов, обеспечивающие повышенную устойчивость переохлажденного аустенита в областях перлитного и промежуточного превращений, обеспечивающие устойчивое формирование в них структуры безуглеродистого мартенсита и аустенита;

-- определении ряда особенностей формирования литой структуры чугуна в условиях ультразвукового воздействия (21-23 кГц, 1 кВт), состоящие в увеличении количества центров кристаллизации и сопутствующих этому эффектов ультразвуковой кавитации и звукового ветра;

-- установлении особенностей формирования дисперсной структуры безуглеродистого мартенсита и аустенита в диапазоне температур бейнитного превращения (250 – 400 °С) при изотермическом охлаждении в расплаве солей с дополнительной ультразвуковой обработкой, что позволило обеспечить повышение механических свойств чугуна;

Таким образом, научные положения, выносимые на защиту, являются новыми, а представленные результаты получены автором впервые.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, основаны на результатах взаимодополняющих современных экспериментальных исследований. Выполнено обсуждение полученного экспериментального материала с привлечением литературных сведений из авторитетных русскоязычных и иностранных источников, список которых содержит 98 наименований. Обработка полученных результатов корректна, выводы аргументированы и логически следуют из обобщения экспериментальных результатов, изложенных в диссертации. Основные научные результаты диссертации нашли отражение в опубликованных научных работах в изданиях из перечня ВАК Республики Беларусь, а также апробированы на международных научных конференциях.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Тематика выполненных в работе исследований соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 годы, п.4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы» (Указ Президента Республики Беларусь 07.05.2022 №156). Работа выполнена в рамках ряда заданий государственных программ научных исследований.

Научная значимость работы состоит в существенном расширении научных знаний в области механизма и кинетики структурообразования специальных бейнитных чугунов в связи с влиянием комплексного легирования и ультразвукового воздействия при кристаллизации и термической обработке.

Практическая значимость результатов работы состоит в получении научно-обоснованных и практически реализованных составов высокопрочных бейнитных чугунов и режимов их термической обработки. Что позволяет создать эффективную альтернативу высоколегированным сталям.

Социальная значимость работы состоит в повышении конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции и расширении экспортного потенциала научно-технических разработок.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, включая авторитетные зарубежные, обсуждены на республиканских и международных научных конференциях. Общее количество публикаций по теме диссертации составляет 17, в том числе 5 статей в научных изданиях перечня ВАК Беларуси. Опубликованность результатов диссертационной работы в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК Беларуси. Публикации полностью отражают содержание диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту, и сделанные выводы.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат диссертации Ковалько М.С. оформлены в соответствии с требованиями инструкции ВАК, содержат все необходимые разделы, включая введение, обзор литературы, описание методологии эксперимента, результаты исследований и их обсуждение, заключение, список публикаций соискателя и библиографический список, в приложении приведены полученные акты использования результатов работы. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, представленные данные подтверждают выводы, сделанные соискателем в

диссертационной работе. Текст изложен литературным, технически грамотным языком, без существенных стилистических погрешностей.

8. Замечания по работе

1. Глава 1 диссертации выглядит несколько перегруженной общеизвестными данными. Речь идет об информации по классической диаграмме «Железо-углерод», классификации графитных включений в чугунах и др.

2. Вызывает сомнение изотермичность процесса воздушного закалочного охлаждения. Не ясно, как была обеспечена постоянная температура образцов в условиях принудительного воздушного охлаждения.

3. Весьма интересные результаты получены с применением ультразвука. Получены перспективные эффекты структурообразования. Однако, есть ряд неясных моментов.

Не ясно почему воздействие ультразвука на закалочную жидкость повышает закаливаемость чугуна? Очевиден эффект повышения прокаливаемости за счет угнетения паровой рубашки. Традиционно, закаливаемость определяется содержанием углерода в переохлажденном аустените. Изменяется ли этот параметр при воздействии ультразвука?

Каковы технологические перспективы промышленного применения ультразвукового озвучивания охлаждающих жидкостей при закалке? Для лабораторных условий все замечательно. Для промышленных садок чугунных изделий обсуждаемое воздействие возможно?

4. Ряд утверждений по тексту диссертации являются не аргументированными экспериментальными фактами или литературным анализом. Так на стр. 111 указано, что ультразвуковая обработка снижает уровень закалочных напряжений. На стр.116 указано, что аустенит остаточный в разработанных чугунах в процессе эксплуатации превращается в мартенсит деформации.

5. Работа содержит ряд терминологических неточностей.

Термин «ферритно-карбидная смесь» является жаргонным и допустим для простейших описаний структурно-фазовых превращений в сталях и чугунах. Более корректным является «ферритно-карбидная структура», «эвтектоидная структура» и др.

Не ясен материаловедческий смысл термина «сравнительно изотермическая закалка». Возможно, речь идет о квазиизотермической закалке.

Вызывает сомнение термин «игольчатый феррит». Представляется, что речь идет о формировании безуглеродистого мартенсита при аномальном бейнитном превращении в условиях изотермической выдержки.

Вышеуказанные замечания не ставят под сомнение полученные результаты и не имеют принципиального значения для общей положительной оценки работы в целом.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Научная квалификация Ковалько Михаила Сергеевича соответствует ученой степени кандидата технических наук. Качество изложения материала диссертации, уровень выполнения экспериментов, новизна и значимость полученных данных, сформулированные выводы, количество и уровень представленных публикаций позволяют сделать вывод, что Ковалько М.С. является квалифицированным специалистом в заявляемой области и достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

10. Заключение

На основании вышеизложенного, обоснованным является вывод, что диссертационная работа Ковалько М.С. «Высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), выполнена на требуемом научном и методическом уровне, является завершенным квалификационным исследованием и соответствует требованиям ВАК Беларуси, в частности пп. 19–26 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь».

Соискатель Ковалько М.С. заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение), за новые научно-обоснованные результаты, заключающиеся в:

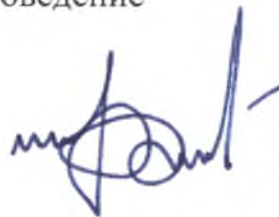
- установлении влияния комплексного легирования (Cu, Mo, Cr, B, Al) на кинетику изотермических структурных превращений специальных чугунов, что позволило научно обосновать составы чугунов, обеспечивающие повышенную устойчивость переохлажденного аустенита в областях перлитного и промежуточного превращений, обеспечивающие устойчивое формирование в них структуры безуглеродистого мартенсита и аустенита;

- определении ряда особенностей формирования литой структуры чугуна в условиях ультразвукового воздействия (21-23 кГц, 1 кВт), состоящие в увеличении количества центров кристаллизации и сопутствующих этому эффектов ультразвуковой кавитации и звукового ветра;

-- установлении особенностей формирования дисперсной структуры безуглеродистого мартенсита и аустенита в диапазоне температур бейнитного превращения (250 – 400 °С) при изотермическом охлаждении в расплаве солей с дополнительной ультразвуковой обработкой, что позволило обеспечить повышение механических свойств чугуна;

Все вышеуказанное в совокупности вносит существенный вклад в развитие научных представлений о структурообразовании и обеспечении высоких механических нового перспективного класса высокопрочных бейнитных чугунов, являющихся эффективной заменой высоколегированных сталей.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Материаловедение
в машиностроении»
Белорусского национального
технического университета



В.М. Константинов



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ковалько Михаила Сергеевича

«ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЧУГУНЫ С АУСФЕРРИТНОЙ И АУСФЕРРИТНО-КАРБИДНОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.16.09** – Материаловедение (машиностроение)

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите.

Предлагаемая вниманию диссертационная работа Ковалько М.С. «Высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью» посвящена исследованию влияния комплекса легирующих элементов Cu, Cr, Mo, Al-B, Cu-B на кинетику изотермических превращений в высокопрочных чугунах; влияния карбидообразующих (Cr, Mn, Mo, V) и не карбидообразующих (Cu, Al, Ni) элементов на процессы формирования аусферритной и аусферритно-карбидной структур в чугунах; влияния ультразвуковой обработки на структуру чугунов и на этой основе разработке состава высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной структурой.

Содержание диссертации соответствует технической отрасли науки. Область исследований соответствует паспорту специальности **05.16.09** – Материаловедение (машиностроение).

2. Актуальность темы диссертации.

Металлохимические характеристики сплавов Fe-C предопределили зависимость их физико-механических характеристик, структуры, как от концентрации углерода и легирующих элементов в них, так и от термомеханических воздействий, что позволило разработать на их основе несколько групп сплавов для различных отраслей промышленности. Одни из них – чугуны с шаровидным графитом и аусферритной структурой имеют достаточно высокий комплекс характеристик: прочность, пластичность, усталостную выносливость, демпфирующую способность. Однако их получение энергоемко, и в ряде случаев трудоемко. Актуальность исследований позволяющих снизить энергоемкость процесса получения изделий из чугуна с аусферритной структурой несомненна. В предлагаемой вниманию диссертационной работе представлены результаты разработки составов чугунов аусферритная структура которых формируется при воздушной закалке и дополнительном термо-механическом воздействии.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту.

Диссертационная работа Ковалько М.С. основана на анализе данных о структурно-фазовых превращениях при термических обработках чугунов,

влияния легирования на кинетику изотермических превращений в чугунах, на его структуру и физико-механические характеристики. Представленные в работе теоретические и экспериментальные данные позволили сформулировать положения, выносимые на защиту.

Научная новизна результатов исследований, представленных в диссертационной работе, заключается в следующем:

- установлено, что легирование (Cu, Cr, Mo) и микролегирование (B, Al) чугуна повышает устойчивость аустенита в областях перлитного и промежуточного превращений до 160 и 120 секунд соответственно, что обусловлено формированием в них аусферритной структуры при струйно-воздушном охлаждении деталей;

- определены концентрации легирующих элементов (Cu 0,4 – 0,52 мас. %; B до 0,02 мас.%; Al до 0,12 мас.%), обеспечивающие устойчивость аустенита в областях перлитного и промежуточного превращений, необходимую для протекания аусферритного превращения;

- установлено, что ультразвуковая кавитация в расплаве чугуна приводит к увеличению числа центров кристаллизации графита и металлической фазы, снижению размеров частиц графита (до 10 – 20 мкм) и металлической фазы (до 20 – 40 мкм), что повышает прочность отливки на 20 – 30 %, а пластичность на 10 – 15 %;

- предложена математическая модель процесса струйно-воздушного охлаждения чугуна (закалки), связывающая давление, расход сжатого воздуха с температурно-временными параметрами охлаждения изделия (чугуна) с показателями прочности и пластичности чугунов, позволившая оптимизировать режимы закалки и повысить прочность литых изделий на 30 – 40 % и их пластичность на 10%.

Полученные Ковалько М.С. результаты научно-значимы, вносят существенный вклад в развитие представлений о структурно-фазовых превращениях в комплексно-легированных железо-углеродных сплавах (чугунах) при термических обработках.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации.

Основные положения, выводы, изложенные в диссертационной работе, обоснованы, достоверны, получены с применением современных методов исследований и программного обеспечения. Эксперименты проводились по апробированным методикам с использованием современных средств измерений. Теоретические построения базируются на основных представлениях о структуре и фазовых превращениях в сплавах системы Fe-C и коррелируют с экспериментальными данными.

5. Научная, практическая и экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.

Научная значимость диссертационной работы Ковалько М.С. заключается в установлении влияния комплексного легирования сплавов системы Fe-C (чугунов) на кинетику изотермических превращений в них в широком диапазоне температур во взаимосвязи с изменениями их физико-механических характеристик; установлении влияния легирования и температурно-временных режимов обработки на формирование аусферритных и аусферритно-карбидных структур в чугунах, что расширяет представления о структурно-фазовых превращениях в микролегированных сплавах системы Fe-C.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке новых составов высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей с повышенными физико-механическими характеристиками для изделий, эксплуатирующихся в условиях абразивного воздействия. На основании данных исследований разработаны технические условия (ТУ ВУ100185302/397-2022) на аусферритный чугун и технологический процесс термической обработки отливок лопатки (МШЕЛ 01050.00050). Испытания лопаток из аусферритного чугуна показали их эффективность и возможность использования на предприятиях республики.

Социальная значимость результатов работы заключается в разработке более эффективных материалов, применение которых на предприятиях Республики Беларусь позволит повысить конкурентоспособность продукции.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати.

Материалы диссертационной работы Ковалько М.С., основные положения и выводы получены соискателем самостоятельно и при его непосредственном участии в соавторстве, достаточно полно изложены в публикациях. По теме диссертации опубликовано 17 работ, из которых 5 – статьи в научных изданиях в соответствии с п. 18 «положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», общим объемом 3,33 авторских листа; 3 – статьи в других научных изданиях; 7 – статьи в сборниках материалов и трудов научных конференций; 2 – тезисы докладов конференций. Результаты работ докладывались на 7 международных симпозиумах, конференциях и семинарах. В 2021 г. соискателю присуждена стипендия президента Республики Беларусь.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 203 страницы, включая 96 рисунков, 27 таблиц, библиографический список из 151 источника (в том числе 17 публикаций автора) и 4 приложений. Материал в диссертационной работе изложен в соответствии с принятой терминологией и весьма подробно. Иллюстрации достаточно полно поясняют и отражают основные результаты работы.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями Положения ВАК Беларуси. Автореферат диссертационной работы достаточно полно отражает её содержание.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.

Материалы, представленные в статьях, структура диссертационной работы, характер изложения экспериментальных данных и теоретических построений дает основание считать, что автор хорошо владеет материалом и методологией исследования. Анализ диссертационной работы, основных публикаций автора, выводов, рекомендаций показывают, что диссертационная работа является самостоятельной законченной научной работой. Совокупность теоретических и прикладных научных результатов диссертационной работы Ковалько М.С. свидетельствуют о его достаточно высокой научной квалификации, полностью соответствующей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09.

9. Замечания по диссертационной работе.

1. Влияние небольших (0,01 – 0,03 масс. %) концентраций легирующих элементов на структуру и физико-химические характеристики сплавов может проявляться и в изменении структуры расплава, и влиять на зарождение центров кристаллизации. В своей работе автор использует группу легирующих элементов, но в главе 1 только упоминает о структуре расплава и механизмах действия легирующих элементов. Этому следовало бы уделить больше внимания в главе 1;

2. Материалы, изложенные в 3.1 и частично в 3.2 целесообразно использовать в гл. 1;

3. Ряд терминов использованных автором не корректны: «...графитовые объёмы...» стр. 76, «...тепловое расширение образования аусферрита...» стр. 79;

4. Кинетика формирования аусферритной матрицы предполагает изменение концентрации аустенита от какого-то параметра (времени) с. 78. Данные дилатометрических исследований не позволяют оценить изменение концентрации аустенита. Кроме того, название параграфа 3.4 подразумевает «время формирования аусферритной матрицы...»;

5. Механизмы стабилизации зёрен аустенита при легировании расплава бором не подтверждён металлографическими данными. Для проявления описанного механизма концентрация бора в расплаве (0,01 – 0,02 масс. %) мала, стр. 80.

Заключение.

Диссертационная работа Ковалько М.С. «Высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью» является законченной квалификационной научной работой, которая по уровню научной новизны и практической

значимости результатов соответствует требованиям п.20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение), а её автор Ковалько Михаил Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук за:

- установленное влияние комплексного легирования добавками Cu, Cr, Mo и микролегирования В и Al на время начала структурно-фазовых изменений в области перлитного (700-400 °С) и промежуточного (400-250 °С) превращения при охлаждении от температуры аустенизации 910-920 °С, позволившее определить интервал критических скоростей закалки ($v_{кр}$), который снижается с 250-300 °С/с до 5 °С/с в случае оптимизации состава экономно легированного чугуна на основе Cu-Cr-Mo-Al-B;

- установленные особенности формирования литой структуры высокопрочных чугунов, основанные на динамической интенсификации процессов кристаллизации за счет УЗО, что проявляется в диспергировании графитовых включений с 125 до 10-20 мкм и измельчении ферритных зерен на 30 %. Это позволило при изотермической закалке сократить время полного превращения аустенита в аусферрит в 1,5 раза;


- определенные закономерности протекания аусферритного (промежуточного) превращения при 250-400 °С в высокопрочных чугунах при их изотермической закалке с использованием охлаждения в расплаве соли и дополнительной ультразвуковой обработки, выражающиеся в ускорении начала аусферритного превращения и формировании более равномерного и дисперсного игольчатого феррита в аусферритной структуре чугуна, что приводит к повышению механических свойств чугунов на 20-30 %.

- установленные особенности влияния скорости закалочного охлаждения на размер, морфологию и соотношение основных структурных составляющих металлической матрицы (остаточного аустенита γ -Fe и игольчатого феррита α -Fe). Показано, что уменьшение скорости охлаждения с 250-300 °С/с до 10-60 °С/с увеличивает долю остаточного аустенита с 15 до 30 % и позволяет повышать пластичность в 2 раза ($\delta=8\%$) и прочностные характеристики на 25-30 % ($\sigma_B=1100$ МПа; 360-380 НВ);

- установленные зависимости влияния углеродного эквивалента ($C_{эк}$) в совокупности с добавками карбидообразующих (Cr, Mn, Mo, В) и не карбидообразующих (Cu, Al) элементов на свойства износостойких ВЧ. Показано, что в этой системе при оптимальном содержании $C_{эк}=4,4-4,6$ % и Cr=1,8-2,2 % дополнительно формируется карбидная фаза типа $(Fe, Cr, Me)_3C$ в количестве до 30-40 %, что приводит к повышению прочностных характеристик (увеличение твердости до 55-60 HRC) и износостойкости, а также снижению коэффициента трения на 30 %. Сравнительные испытания разработанных аусферритно- карбидных чугунов показали их большую

стойкость (на 20-30 %) в сравнении с высокохромистыми чугунами типа ИЧХ (15-25 % Cr).

ФТИ НАН Беларуси, заведующий
лабораторией Физики поверхностных
явлений, д.т.н., доцент


_____ А.М. Кузей
2 с. 06.23

Подпись А.М. Кузея удостоверяю:
зав. отделом кадровой и правовой работы



_____ О.К. Михно