

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор УО «Белорусский государственный
технологический университет»



И.В. Войтов

» 2023 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Диссертационная работа Ковалько М.С. состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем работы составляет 203 страницы, включая 96 рисунков, 27 таблиц, библиографический список из 151 источника (в том числе 17 публикаций автора) и 4 приложения.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению научной, научной технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156) по п. 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы».

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК

Диссертационная работа Ковалько М.С. посвящена разработке составов высокопрочных чугунов с шаровидным графитом с аусферритной и аусферритно-карбидной металлической матрицей для изделий с повышенной износостойкостью, в частности работающих при ударно-абразивном воздействии. Объектом исследования являются износостойкие отливки из высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей, предмет исследования – их химический состав, структурно-фазовое состояние и

свойства. В работе изучена кинетика изотермических превращений в высокопрочных чугунах при их легировании добавками на основе Cu-Cr-Mo-Al-B, проведено исследование процессов их структурообразования при модифицировании, ультразвуковой обработке и изотермической закалке.

Содержание диссертации, ее основные результаты и положения, выносимые на защиту, соответствуют специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) и относятся к указанным в паспорте специальности областям исследований по разделу III, соответствующие пунктам № 1 (закономерности формирования структуры материалов с заданным комплексом эксплуатационных характеристик в зависимости от их состава, а также при различных воздействиях (механическом, термическом, термомеханическом, радиационном и других), № 2 (закономерности изменения механических, физических, физико-химических и других эксплуатационных свойств материалов в условиях их практического использования в определенных областях, и взаимосвязь этих изменений с изменением их фазового и химического состава) и № 5 (методы улучшения технологических (обрабатываемости, пластичности, твердости и др.) и эксплуатационных (статической и циклической прочности, износостойкости, теплостойкости, коррозионной стойкости и др.) свойств материалов и изделий из них).

Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Соискателем получены новые научно-обоснованные результаты, совокупность которых вносит весомый вклад в решение поставленной научной задачи, заключающиеся в:

- установлении влияния комплексного легирования добавками Cu, Cr, Mo и микролегирования B 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, позволившие 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;

- установлении особенностей формирования литой структуры высокопрочных чугунов, основанных на динамической интенсификации процессов кристаллизации за счет ультразвуковой обработки, проявляющихся в диспергировании графитовых включений с 125 до 10-20 мкм и измельчении ферритных зерен на 30 %;

- определении закономерностей 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 %;

- установлении особенностей влияния скорости закалочного охлаждения на размер, морфологию и соотношение основных структурных составляющих металлической матрицы (остаточного аустенита γ -Fe и игольчатого феррита α -Fe) высокопрочных чугунов, заключающихся в уменьшении скорости охлаждения с 250-300 °С до 10-60 °С/с и увеличении доли остаточного аустенита с 15 до 30 %, что позволило повысить пластичность в 2 раза ($\delta=8\%$) и прочностные характеристики на 25-30 % ($\sigma_B=1100$ МПа; 360-380 НВ);

- установлении зависимости влияния углеродного эквивалента ($C_{ЭК}$) в совокупности с добавками карбидообразующих (Cr, Mn, Mo, В) и не карбидообразующих (Cu, Al) элементов на свойства износостойких высокопрочных чугунов, показывающие что при 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 %, приводящая к повышению прочностных характеристик (увеличение твердости до 55-60 HRC) и износостойкости, а также снижению коэффициента трения на 30 %.

Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Ковалько М.С. может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) за новые научные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной металлической матрицей, которые включают:

- установленное влияние легирования Cu, Mo, Cr и микролегирования В и Al на кинетику изотермических превращений структуры чугунов, что позволило определить пределы содержания в них легирующих элементов (Cu от 0,4 до 0,52 мас. %, Mo от 0,2 до 0,21 мас. %, Cr от 0,18 до 0,2 мас. %, В до 0,02 мас. % и Al до 0,12 мас. %), обеспечивающие устойчивость аустенита в областях перлитного

и промежуточного превращений до 160 с и 120 с соответственно, обуславливающую формирование в них аусферритной структуры при закалке методом струйно-воздушного охлаждения;

- определены закономерности формирования литой структуры чугуна при динамическом затвердевании расплава за счет подвода к нему ультразвуковых колебаний частотой 21-23 кГц и мощностью 1 кВт, заключающиеся в увеличении количества центров кристаллизации и сопутствующих этому эффектов ультразвуковой кавитации и звукового ветра;

- установлены особенности формирования мелкодисперсного (толщиной 300 – 450 нм) игольчатого феррита в аусферритной матрице чугунов в диапазоне температур 250 – 400 °С при охлаждении в расплаве солей с дополнительной ультразвуковой обработкой, что позволило обеспечить повышение его механических свойств;

- разработана математическая модель процесса струйно-воздушного охлаждения чугуна при закалке, связывающая давление и расход сжатого воздуха с температурно-временными параметрами охлаждения чугуна при индукционно-спрейерной и струйно-воздушной закалке с показателями прочности и пластичности чугунов, позволившая оптимизировать режимы закалки, повысить прочность литых чугунов на 30-40 % и их пластичность на 10 %.

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в созданных составах материалов, технических условиях и технологии изотермической закалки отливок, которые способствуют повышению эксплуатационных характеристик механизмов машин, снижению их себестоимости. При этом, обладая невысокой массой, повышенной износостойкостью, прочностью и ударной вязкостью высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной структурой следует рассматривать как альтернативу высоколегированным железоуглеродистым сплавам. Сравнительные исследования свойств разработанных высокопрочных чугунов с аусферритно-карбидной матрицей показали возможность их использования при работе в условиях ударно-абразивного изнашивания для дробеметного оборудования при замене дорогостоящих белых высокохромистых чугунов, содержащих более 15 % хрома, что подтверждено соответствующим актом, приведенным в приложении диссертационной работы.

Результаты исследований явились основой для разработки технических условий (ТУ ВУ 100185302/397-2022) на аусферритно-карбидный чугун и технологии термической обработки отливок из данных чугунов (МШЕЛ 01050.00050).

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержания диссертационной работы, автореферата, опубликованных статей и тезисов докладов на научных конференциях, интерпретации научных и практических результатов свидетельствуют о научной квалификации автора, соответствующей ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности. Работа соискателя соответствует п. 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 научных работах, 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 авторского листа), 3 – статьи в других научных изданиях, 7 – статьи в сборниках материалов и трудов научных конференций, 2 – тезисы докладов конференций.

За установление кинетики распада переохлажденного аустенита при физико-химическом воздействии на процесс кристаллизации и последующей термической обработке, разработку экономнолегированных составов высокопрочных чугунов, позволяющих проводить их изотермическую закалку менее энергозатратным и трудоемким способом в 2021 г. присуждена стипендия Президента РБ.

Рекомендации по использованию результатов диссертации, которые могут найти практическое применение

Полученные результаты исследований могут широко использоваться для изделий, работающих в условиях ударно-абразивного износа (в литейной и горнодобывающей промышленности), а также для деталей трансмиссии грузовой техники в машиностроении.

Разработанные технические условия и технология изотермической закалки рекомендуется использовать на предприятиях различных отраслей промышленности, в том числе при замене высоколегированных железоуглеродистых сплавов.

Замечания по диссертации

На основании анализа содержания диссертации и автореферата следует отметить следующие недостатки и замечания:

1. В главе 1 приведен обзор основных способов модифицирования чугуна, однако в конце раздела не имеется сравнительного анализа приведенных способов (с. 20-25).

2. В автореферате встречаются некоторые несоответствия поясняющего текста к рисункам, в частности рисунку 1а.

3. По аналогии с составом чугуна, дополнительно легированным 0,48-0,52% Cu; 0,20-0,21 % Mo; 0,0,18-0,21 % Cr; 0,10-0,12 %; Al; 0,01-0,02 % B, стоило бы привести микроструктуры и других составов чугунов, используемых для построения кривых начала изотермического превращения структурным методом (стр. 68, 70, 71).

4. Для чугунных отливок с аусферритно-карбидной матрицей стоило бы провести дополнительные структурно-фазовые исследования после их испытаний при ударном воздействии в дробеметных барабанах для определения возможных изменений микроструктуры и фазового состава.

Приведенные выше замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертации, и не снижают научной и практической значимости полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Ковалько М.С. «Высокопрочные чугуны с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей для изделий с повышенной износостойкостью» является завершенным квалификационным исследованием и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 г. №560 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 г. № 190), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ковалько Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) за новые научно обоснованные результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку высокопрочных чугунов с аусферритной и аусферритно-карбидной матрицей, включающие:

- экспериментально установленные пределы содержания легирующих элементов в высокопрочных чугунах системы Fe-C-Cu-Mo-Cr-Al-B, составляющие, в мас. %: 0,40-0,52 Cu; 0,20-0,21 Mo; 0,18-0,33 Cr; 0,10-0,14 Al и 0,01-0,02 B, отличающиеся повышенной устойчивостью аустенита в области перлитного превращения до 160 с, а в области промежуточного превращения до 120 с, что позволяет формировать аусферритную структуру металлической

матрицы чугунов при воздушной закалке отливок с критической скоростью охлаждения в диапазоне от 2 до 5 °С/с.

- особенности формирования литой структуры высокопрочных чугунов со средним размером (диаметром) графитовых включений 10-20 мкм и дисперсной металлической матрицы размером зерна 30-40 мкм, полученной при динамическом затвердевании расплава за счет подвода к нему ультразвуковых колебаний частотой 22 кГц и мощностью 1 кВт, что приводит к одновременному повышению прочностных свойств на 20-30 % и пластичности на 10-15 %, а также установленное влияние размера шаровидного графита в литой структуре чугуна на процесс формирования аусферритной матрицы при изотермической закалке, заключающееся в сокращении времени аусферритного превращения в 1,5 раза при уменьшении среднего диаметра графитовых включений с 120 до 20 мкм.

- экспериментальные зависимости количества остаточного аустенита от величины углеродного эквивалента (от 4,4 до 4,6 %) и концентрации Cr (от 0,18 до 2,2 мас. %) при воздушной закалке чугунов, позволившие увеличить его содержания от 10-15 до 28-30 %, что обеспечило формирование аусферритной матрицы с высокими механическими свойствами ($\sigma_b=1100$ МПа; 360-380 НВ; $\delta=8\%$; КС=40-50 Дж/см²), а также аусферритно-карбидной матрицы с высокой твердостью, удовлетворительной прочностью и вязкостью (55-60 HRC; $\sigma_b=350-400$ МПа; $\delta=2\%$; КС=15-20 Дж/см²) при изотермической закалке с аустенизацией при 910±5 °С в течение 40 мин, закалочном охлаждении со скоростью 10-80 °С/с и последующей изотермической выдержкой при 300-350°С в течение 30 мин.

- результаты моделирования процессов распределения температуры в чугунных отливках при охлаждении, позволившие определить требуемый расход воздуха (0,03 – 0,05 кг/с) и время охлаждения (от 20 до 120 с) в зависимости от их массы и размеров, требуемые для разработки технологии получения и термоупрочнения деталей шестерен КПП и лопаток дробебетных установок, что позволило повысить их износостойкость при аусферритной матрице (сплав, легированный в мас. %: 0,33 Cr; 0,44 Cu; 0,20 Mo; 0,10 Al; 0,015 V) на 30 % и при аусферритно-карбидной матрице (сплав, легированный в мас. %: 1,8 Cr; 0,51 Ni; 0,65 Cu; 0,102 Al; 0,015 V) на 20 %, по сравнению с чугунами марки ВЧ50 и ИЧХ17 соответственно,

Эксперт от оппонировающей организации назначен приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» № 278 от 16.06.2023 г.

Доклад соискателя и проект отзыва на диссертационную работу Ковалько М.С. заслушаны и обсуждены на расширенном научном собрании кафедры материаловедения и проектирования технических систем Белорусского государственного технологического университета (протокол №1 от 22.06.2023 г.), организованного по приказу ректора БГТУ № 278 от 16.06.2023 г.

Присутствовали 12 членов совета (из них 12 имеют ученую степень). В голосовании участвовало: докторов наук — 1, кандидатов наук — 11.

Соискатель выступил с докладом и ответил на заданные вопросы. Состоялось обсуждение доложенных результатов исследований и предложенного экспертом проекта отзыва оппонировавшей организации.

Результаты голосования относительно принятия отзыва по диссертационной работе и по вопросу присуждения Ковалько М.С. ученой степени кандидата технических наук: «за» — 12, «против» — нет, «воздержались» — нет.

Председатель научного собрания
профессор кафедры «Материаловедение и
проектирование технических систем»
Белорусского государственного
технологического университета
доктор технических наук, профессор



Н.А. Свидунович

Секретарь научного собрания
доцент кафедры «Материаловедение и
проектирование технических систем»
Белорусского государственного
технологического университета
кандидат технических наук, доцент



М. Н. Пищов

Эксперт
заведующий кафедрой «Материаловедение и
проектирование технических систем»
Белорусского государственного
технологического университета
кандидат технических наук, доцент



Д.В. Куис