

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

(наименование кафедры)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Инжиниринг перспективных материалов и диагностика поведения

материалов в изделиях

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Разработка состава и технологии получения ЧВГ для корпусных
деталей автомобиля

Студент

М.М. Скрябина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

Д.т.н., доцент, Д.А. Болдырев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 Литературный обзор.....	7
1.1 Общие сведения о чугунах	7
1.2 Ковкий чугун.....	11
1.2.1 Технология получения, характеристика структуры и свойств, область применения	11
1.2.2 Особенности химического состава чугунов. Влияние химических элементов на структуру и свойства	14
1.2.3 Химический состав КЧ	19
1.3 Чугун с вермикулярным графитом	19
1.3.1 Характерные особенности, область применения.....	19
1.3.2 Влияние структурных особенностей ЧВГ на работоспособность	22
1.3.3 Особенности технологии получения и морфологии графитных включений в ЧВГ	25
1.3.4 Обрабатываемость ЧВГ	26
1.3.5 Применение ЧВГ в автомобилестроении	27
1.3.6 Современные методы оценки графитовых включений.....	28
1.4 Результаты сравнительного анализа чугунов разных типов и выбор наиболее рационального	33
Глава 2 Материалы, образцы, оборудование, методы испытаний и исследований	34
2.1 Характерные зоны для исследования	34
2.2 Оборудование и методики проведения испытаний и исследований.....	36
Глава 3 Исследуемые детали и материалы для их изготовления.....	39
3.1 Сведения о деталях 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» и условиях их работы	39

3.2 Отечественные и зарубежные материалы, используемые для изготовления деталей 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»	39
Глава 4 Получение опытных отливок и результаты их исследования	41
4.1 Получение исследуемых отливок	41
4.2 Результаты определения параметров микроструктуры и их анализ	44
4.3 Результаты определения механических свойств и их анализ	59
4.4 Результаты определения твёрдости по Бринеллю и их анализ.....	60
4.5 Результаты натурных испытаний в узле	65
4.5.1 Результаты испытаний на жёсткость и их анализ.....	65
4.5.2 Результаты испытаний на ударную прочность	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	72

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в рамках литейного производства выяснилось, что ЧВГ 40 перспективен для применения его в корпусных деталях. Данный материал отвечает всем необходимым эксплуатационным характеристикам, но так как детали «Картер редуктора заднего моста» и «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» изготавливаются из другого вида чугуна, на основе ВЧ 50 с химическим составом [15], % масс: С 3,6-3,8%, Si 1,9-2,0%, Mn 0,5-0,6%, P до 0,06%, S до 0,012%, Cr до 0,07%, Cu 0,5-0,6, Sn до 0,03., наиболее рациональным стало рассмотрение для их изготовления материала ЧВГ 40.

Данный оливики производят используя технологию «залитка сверху» с использованием различных модифицирующих материалов [15].

Актуальность работы можно проследить в исследовании технологии получения ЧВГ для деталей «Картер редуктора заднего моста» и «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» как экономически выгодного, близкого по комплексу свойств аналога ковкого чугуна.

Объектом исследования являются следующие корпусные средненагруженные детали: 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста».

Предмет исследования: химический состав, микроструктура, механические и эксплуатационные свойства деталей 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» из чугуна марки ЧВГ40.

Цель работы – разработка ЧВГ для отливок 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» на основе марки ЧВГ40.

Решаемые задачи:

1. Освоение и внедрение экономичного состава феррито-перлитного ЧВГ на основе марки ЧВГ40 для изготовления отливок корпусных деталей средней нагруженности.

2. Разработка требований к ЧВГ для расширения его применения как более рационального альтернативного материала взамен низких марок ВЧ (в частности, ВЧ50).

Научная новизна:

1. Показано влияние комбинированной структуры графита (вермикулярный ВГф2, ВГф3, шаровидный ШГд45 и ШГд25) на механические свойства ЧВГ.
2. Установлено, что фактическое соотношение перлит/феррит, а также шаровидный/вермикулярный графит в микроструктуре отливок позволило достичь высокого относительного удлинения для ЧВГ – 3,10-5,35% при твёрдости преимущественно на верхней половине нормируемого диапазона (195-220 НВ).

Практическая значимость:

1. Предложен и экономически обоснован химический состав ЧВГ для получения отливок некоторых корпусных деталей в действующем чугунолитейном производстве АО «АВТОВАЗ».
2. Разработаны требования к микроструктуре и механическим свойствам ЧВГ для отливок 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» на основе требований к ЧВГ40.

Этапы выполнения работы:

1. Провести сбор и систематизацию научно-технической информации о ковком чугуне и чугуне с вермикулярным графитом. Проанализировать особенности технологии получения каждого типа чугуна, их химический состав, характеристику структуры, основных и специальных свойств, области применения.

2. Используя результаты проведённого анализа составить аналитический обзор с подробной характеристикой каждого типа чугуна, предложить химический состав чугуна с вермикулярным графитом, сформулировать требования к микроструктуре и механическим свойствам.

3. Изготовить, а затем провести комплексное исследование параметров микроструктуры и показателей механических свойств чугуна в опытных отливках.

4. Провести механическую обработку опытных отливок и передать готовые детали на стендовые натурные испытания.

5. Провести в необходимом объёме комплекс стендовых натурных испытаний опытных деталей.

Глава 1 Литературный обзор

1.1 Общие сведения о чугунах

Чугун-это широкое семейство материалов, часто используемых в различных областях машиностроения, например, в автомобильной промышленности, благодаря их благоприятной литейности, теплопроводности и т.д [26].

Многие современные высокоэффективные материалы являются гетерогенными в определенном масштабе, со сложными микроструктурами, состоящими из двух или более компонентов, проявляющих различные механические и физические свойства. Такая микроструктурная сложность делает проектирование и прогнозирование производительности таких материалов сложной задачей. Кроме того, это требует хорошего понимания микромасштабных явлений и надлежащего многомасштабного подхода для извлечения отклика макроскопического материала [26].

Типичным примером такого материала является чугун, который представляет собой сложную гетерогенную микроструктуру, состоящую из анизотропных графитовых включений, встроенных в ферритно-перлитную матрицу. Согласно морфологии графитовых включений, чугуны могут быть классифицированы как: чешуйчатое или пластинчатое графитовое железо, уплотненное или вермикулярное графитовое железо и сфероидальное, узловое или пластичное графитовое железо. Морфология графита играет решающую роль в результирующих механических и физических свойствах чугуна. В частности, сложная трехмерная связность графитовой сети, обнаруженная в ЧВГ, в сочетании с формой графита и его локальной анизотропией являются важными микроструктурными факторами [26].

Например, узловый чугун содержит сферические включения, диспергированные в металлической матрице, что приводит к относительно высокой прочности и пластичности, но его теплопроводность близка к теплопроводности сталей. Напротив, пластинчатый чугун содержит

графитовые включения в виде ламелей или хлопьев, которые образуют трехмерную взаимосвязанную сеть. Между узловатым и пластинчатым чугуном находится уплотненный чугун. В ЧВГ также присутствует трехмерная взаимосвязанная графитовая сеть, однако включения чешуйчатого типа заменяются вермикулярными червеобразными, что приводит к кораллоподобной морфологии [26].

Этот тип микроструктуры приводит к механическим и физическим свойствам, которые являются промежуточными между пластинчатым и узловатым чугуном. Это делает пластинчатые и уплотненные чугуны популярным вариантом для тяжелых термомеханических применений (например, двигателей грузовых автомобилей) [26].

Относительно недавно разработанные и оптимизированные пластичные чугуны предлагающие интересное сочетание хороших механических свойств (сходных или даже лучших, чем у углеродистых сталей) и хорошей литейности (свойственной чугунам).

Контролируя форму графитовых конкреций (узелковых и не пластинчатых) с помощью узелковых элементов, таких как Mg, а не с помощью длительной термической обработки (как в ковких чугунах) с последующим сильным снижением затрат. Учитывая роль, которую играют графитовые конкреции в повреждающих микромеханизмах при статическом, квазистатическом воздействии или циклическое нагружение.

Некоторые авторы сосредоточили свое внимание на разборке матрично-графитовых элементов и, как следствие, предложили некоторые аналитические законы, способные описать рост одиночных или множественных пустот, зависящий только от геометрии пустот и поведения матрицы.

Недавний экспериментальный анализ показал, что графитовые элементы играют более сложную роль в зависимости от условий нагружения, морфологии графитовых конкреций и микроструктуры матрицы. Учитывая условия растягивающего нагружения роль, которую играют графитовые

конкреции в повреждающих микромеханизмах, можно резюмировать следующим образом:

- Графитовые конкреции-матричная обвалка этот механизм чаще всего наблюдается в перлитных пластинчатых чугунах. Хотя он часто рассматривается как уникальный механизм в ферритном ПЧ, и единственный механизм, рассматриваемый в моделировании, основанном на пластическом росте пустот.

- Графитовые конкреции внутренней обвалки трещины возникают и распространяются внутри графитовой конкреция, с внешней графитовой оболочкой и внутренним ядром, которые становятся все более очевидными с увеличением макроскопической деформации;

- Инициирование трещины в ядре конкреции, трещины возникают в соответствии с центром конкреции, вероятно, соответствующей участку затвердевания (например, неметаллическое включение), и распространяются с прогрессирующей агрегацией графитового конкреция.

Хотя поверхность, соответствующая графитовым конкрециям, не является идеально плоской, результаты, полученные для ПЧ, действительно интересны. Различия между гипотетическим узловым “ядром” и узловой “оболочкой” не являются очевидными. Среднее значение (около 20 гПа) получено во всех исследованных конкрециях, которое сравнивается со средним значением около 190 гПа, полученным в матрице. Учитывая это, результаты получаются разные.

Есть три разных зоны очевидно: ядро конкреции (за счет прямого затвердевания из расплава, с наименьшими значениями попадания), первая оболочка конкреции (за счет эвтектического затвердевания, с промежуточными значениями попадания) и вторая внешняя оболочка (за счет атомов углерода твердая диффузия, с самыми высокими значениями хита, измеренными в графитовых конкрециях). Таким образом, можно резюмировать, что наличие градиента механических свойств внутри графитовых конкреций можно отнести к различным механизмам роста

графитовых конкреций (прямое затвердевание из расплава, эвтектическое затвердевание, твердая диффузия атомов углерода). Внутренние трещины зарождаются, соответствующие участкам зарождения графитовых конкреций (например, микрооиды). Вместо этого так называемый “онионоподобный” механизм в основном инициирует и распространяет соответствующие границы раздела между ядром конкреции (полученным непосредственно из расплава) и первой оболочкой, полученной в процессе эвтектического затвердевания. На этой стадии увеличение графитового конкреция достигается за счет твердой диффузии атомов углерода через аустенитную оболочку. Эволюция эвтектического затвердевания предполагает увеличение толщины аустенитной оболочки, причем диффузия атомов углерода становится все более затруднительной вплоть до полного затвердевания сплава. В результате различных механизмов роста графитовых конкреций получены различные значения нанотвердости с последующей возможностью активации различных повреждающих микромеханизмов при растягивающем нагружении [26].

На основе экспериментальных результатов и некоторых упрощенных соображений о зарождении и росте графитовых конкреций в процессе затвердевания ПЧ можно резюмировать, что:

- Графитовые конкреции характеризуются внутренним градиентом механических свойств (нанотвердостью);

- Результаты испытаний на нанотвердость позволили выделить три зоны, соответствующие графитовому сердечнику, полученному непосредственно из расплава, первой графитовой оболочке, полученной при эвтектическом затвердевании (через диффузию твердых атомов углерода через аустенитную оболочку) и второй графитовой оболочке, полученной на стадии охлаждения (за счет снижения растворимости атомов углерода в аустенитных зернах с понижением температуры));

- Графитовые конкреции-матричная обвязка является лишь одним из возможных повреждающих микромеханизмов в ПЧ ” луковичный ” механизм

и инициирование и распространение трещин в центре конкреций и распространение других двух возможных повреждающих микромеханизмов.

1.2 Ковкий чугун

1.2.1 Технология получения, характеристика структуры и свойств, область применения

КЧ представляет собой отожжённый белый чугун (БЧ) определённого химического состава (2,4-2,9 % С и 1,0-1,6 % Si) [19]. Хлопьевидная форма графита в меньшей степени снижает прочность и пластичность металлической основы чугуна.

Обычно металлическая основа КЧ: феррит и, реже, перлит. Ферритный КЧ наиболее пластичен [17]. Схема графитизирующего отжига БЧ на КЧ приведена на рисунке 1.

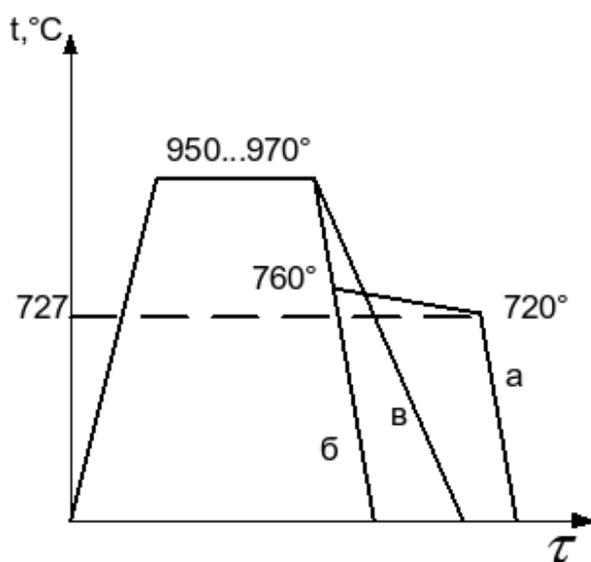


Рисунок 1 – Схема графитизирующего отжига БЧ на КЧ [17]

Для сокращения времени процесса отжига КЧ практикуют увеличения температуры выдержки, добавление в чугун различных материалов [11].

Излом КЧ может быть бархатисто-чёрным (чёрно-сердечный КЧ) вследствие большого количества выделившейся при отжиге графитной фазы в результате графитизирующего отжига. Следовательно, КЧ имеет типичную

для чугунов химическую основу [11].

Ковкий чугун согласно ГОСТ 1215-79.

КЧ на ферритной основе (рис. 2).

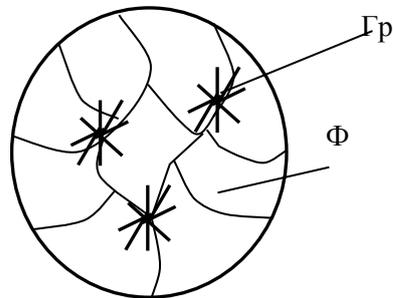


Рисунок 2 – Схема структуры ферритного КЧ [6]

Наиболее употребительная марка – КЧ45-6 ($\sigma_B = 450 \text{ н/мм}^2$ (МПа), $\delta = 6 \%$).

Применяется для изготовления тонкостенных отливок.

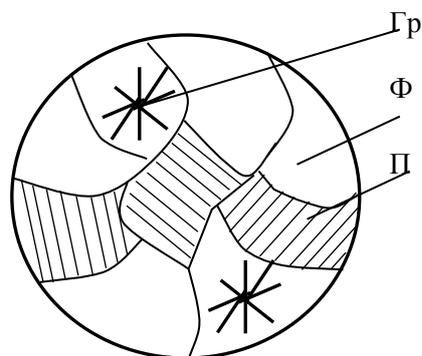


Рисунок 3 – Схема структуры феррито-перлитного КЧ [6]

Ковкий чугун на перлитной основе (рис. 4).

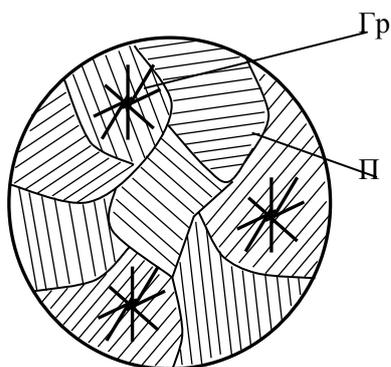


Рисунок 4 – Ковкий чугун[6]

Известно, что в основном КЧ используется для изготовления вилок карданных валов, звеньев и роликов цепей конвейера, втулок, муфт, тормозных колодок и т.д [6].

Но, как правило, КЧ не выгодный материал в рамках производства из – за своей сложной технологии получения.

Сравнение механических свойств ковких чугунов по ГОСТ 1215-79 приведено в табл. 1.

Таблица 1. Марки КЧ по ГОСТ 1215-79 и их основные механические свойства

Свойства/ Марка КЧ	КЧ 30-6	КЧ 33-8	КЧ 35- 10	КЧ 37- 12	КЧ 45-7	КЧ 50-5	КЧ 55-4	КЧ 60-3	КЧ 65-3	КЧ 70-2	КЧ 80- 1,5
σ_B , МПа, не менее	294	323	333	362	441	490	539	588	637	686	784
δ , %	6	8	10	12	7	5	4	3	3	2	1,5
НВ	100- 163	100- 163	100- 163	110- 163	150- 207	170- 230	192- 241	200- 269	212- 269	241- 285	270- 320

Обычно, повышение температуры может оказать воздействие на механические свойства КЧ [18].

Известно, что КЧ занимает промежуточное положение между СЧ и сталью [7].

1.2.2 Особенности химического состава чугунов. Влияние химических элементов на структуру и свойства

Чугуны составляют 71% от общего объема литья металлов в мире, что делает их наиболее широко используемыми материалами в промышленности. Первичное применение этих материалов включает машиностроение, ветроэнергетику и, очевидно, автомобильное производство. Увеличение твердости чугуна за счет увеличения содержания перлита приводит к снижению обрабатываемости резанием. При обработке в аустенитном состоянии, вследствие более высоких механических нагрузок и более высоких температур, режущие пластины испытывают относительно высокие боковые и кратерные износы. Увеличение содержания вермикулярного графита приводит к более низкой обрабатываемости ЧВГ. Наличие частиц твердых сплавов вызывает более высокий износ бортов инструмента, а рост адгезии материала заготовки к поверхностям режущего инструмента может индуцировать рост сил резания. Кроме того, силы резания, расположенные на фланцевой грани, при обработке узлового чугуна с немелованным режущим инструментом значительно превышают те, которые регистрируются при резании с нанесенными на него пластинами. С другой стороны, прерывистость стружки при обработке Чугунов приводит к тому, что максимальная температура локализуется вблизи режущей кромки. Поэтому режущий инструмент и стружка должны рассеивать большое количество тепла [33].

Описание вышеперечисленных трудностей, возникающих при резании Чугунов, является основой для дальнейших исследований и разработки новых методов обработки и инструментов. Чугун материалы обычно обработаны с использованием высокоскоростной сталь, керамика, твердый сплав и сверхтвердых кубического нитрида бора. Однако эти материалы имеют много недостатков. Керамические вставки характеризуются низкой прочностью, склонностью к трещиноватости и низкой термостойкостью.

Режущие инструменты сделанные cBN (нитрид бора) или керамики обыкновенно использованы в трудно - подвергаемой механической обработке. Срок службы инструмента из cBN уменьшается с ростом скорости резания, но токарная обработка стали с CBN вставками выявила высокую износостойкость при обработке с высокими скоростями резания. Увеличение сил резания происходит постепенно с ростом износа фланца CBN. Однако при низких скоростях резания истирание является основной формой износа cBN. Независимо от материала инструмента или геометрии вставки во время точения сталей, инструменты cBN представляют достаточную твердость для того чтобы допустить удары типичные как для прерванного, так и для непрерывного вырезывания. Карбид вольфрама (WC), который обычно спечен с кобальтом как участок выпуска облигаций, другой материал широко используемый для режущих инструментов. Главным преимуществом цементированных карбидов является их относительно высокая ударная вязкость по сравнению с другими инструментальными материалами. С другой стороны, материалы cBN характеризуются чрезвычайно высоким уровнем твердости. Также можно отметить существенные различия между алмазными и cBN инструментами по уровню термической стабильности и химической нейтральности, которые более благоприятны в случае cBN. Эти преимущества обусловили широкое применение в производстве режущего инструмента [33].

Последние исследования, касающиеся разработки новых режущих материалов с уникальными режущими характеристиками, сосредоточены на производстве гибридных материалов, соединяющих преимущества цементированных карбидов и cBN. Примером такого материала является недавно разработанный композит WCCo/cBN (обычно описываемый как bndcc - дисперсный цементированный карбид нитрида бора), полученный в результате импульсного плазменного спекания. BNDCC представляет собой композит с низким содержанием cBN на основе матрицы WCCo (карбида вольфрама, легированного кобальтом). В процессе производства cBN

поставляется в виде порошка с размером зерен в диапазоне от 10 нм до 2 мкм. Композит BNDCC получают методом горячего изостатического прессования спекания, при давлении 200 МПа и в интервале температур 1100-1200 °С. С другой стороны, композиты cBN/WCCo также могут быть изготовлены методом SPS (искрового плазменного спекания) при температурах от 1240 °С до 1300 °С и давлениях от 50 МПа до 75 МПа. Оптимальные сочетания твердости и ударной вязкости являются уникальными особенностями композитов BNDCC, используемых в качестве режущих пластин для обработки материалов на основе железа. Это новое поколение материалов может быть использовано в качестве замены для WCCo/алмазных композитов. Диспергированный в цементированном карбиде нитрид бора характеризуется более высокой твердостью, износостойкостью, более высоким коэффициентом теплопроводности и более высокой стойкостью к растрескиванию, чем спеченные карбиды. Следует отметить, что эти особенности способствуют улучшению условий работы инструмента за счет снижения температуры в зоне резания и получения высокой вязкости разрушения [33].

Несмотря на некоторые литературные сообщения, касающиеся производства композитов WCCo/cBN, они все еще остаются на стадии лабораторных испытаний; таким образом, режущие свойства этих материалов еще не признаны. Поэтому данное исследование направлено на выявление характеристик резания BNDCC в процессе обработки канавок из труднообрабатываемого сфероидального чугуна. Проведенные исследования включали измерения сил резания, вибраций и коэффициента трения между режущей кромкой инструмента и проточной стружкой. Кроме того, на основании проведенных экспериментов по нарезанию канавок были определены механизмы изнашивания инструмента и срок службы инструмента с покрытием и без покрытия, а также проведено сравнение с полученными при резании цементированными твердосплавными инструментами. Полученные результаты впервые в литературе дают

существенную информацию относительно режущей способности материала, а также позволяют выбрать эффективные параметры механической обработки [33].

Сложная микроструктура Чугунов делает оценку их эффективных свойств достаточно сложной задачей. В литературе можно найти несколько работ, в которых аналитические модели используются для прогнозирования упругости из чугуна. Различные рассмотренные подходы варьируются от простых границ Ройса и Фойта до более продвинутых границ Хашина–Штрикмана и самосогласованных методов. В целом, в этих (полу)-аналитических методах чугуны рассматриваются как двухфазные материалы, состоящие из изотропных или анизотропных графитовых включений, встроенных в изотропную металлическую матрицу, в которой Влияние формы частицы учитывается через соотношение сторон частиц. Основными недостатками (полу) - аналитических методов является то, что не рассматривается взаимодействие между отдельными частицами и предполагается совершенная адгезия между частицами графита и металлической матрицей. Отсутствие взаимодействия между частицами не является проблемой в узелковом чугуне, где графитовые включения являются почти изолированными узлами, но это не относится к пластинчатым и уплотненным чугунам, где графитовые включения образуют трехмерную взаимосвязанную сеть [33].

В частном случае узлового чугуна в литературе было введено несколько моделей элементарных ячеек конечных элементов для изучения механического отклика материала в упругом и упруго-пластическом режимах. Однако, насколько нам известно, этот подход не был использован для изучения пластинчатых и уплотненных Чугунов. Для анализа изотермического механического отклика прессованного чугуна была проведена прямая дискретизация 2D микрофотографии или модель тонких эллипсоидов был использован. Эти подходы не включают в себя трехмерную взаимосвязанность и поэтому не применимы к транспортным свойствам и

связанным эффектам. Для получения общей тепло-и электропроводности пластинчатого чугуна были использованы изображения фибротомографии в анализе МКЭ. Хотя модель на основе томографии является геометрически точным представлением небольшой части микроструктуры, она становится чрезмерно дорогостоящей с точки зрения вычислений, если должны быть включены анизотропные и/или нелинейные свойства материала [33].

Механические свойства чугуна могут быть улучшены методами контроля конструкции и структуры сплава. С точки зрения материаловедения, влияние состава материала на структуру и свойства является значительным. В последнее время многие исследователи сосредоточились на добавлении следовых легирующих элементов в чугун. Хорошо известно, что легируемые элементы, такие как ниобий, молибден и ванадий, добавляются в очень малом количестве для повышения прочности и пластичности через осадки Nb, Mo, V (C, N). Среди различных легирующих элементов ниобий широко используется для микроструктурного контроля в чугуне. Результаты исследований показали, что основными функциями ниобия в чугуне были упрочнение превращением, мелкозернистое упрочнение и упрочнение второй фазы. Ниобиевый элемент в основном сочетается с углеродом для образования твердых частиц NbC, внедренных в матрицу чугуна.

Кроме того, одним из способов снижения избыточных остаточных напряжений при литье, является применение методов снятия напряжений для обработки отливок. Остаточное напряжение головки цилиндра главным образом произведено во время отливки. В процессе охлаждения после затвердевания, из-за различной скорости охлаждения каждой области и затруднения усадки формовочными материалами, остаточные напряжения индуцируются в отливке. Для устранения остаточных напряжений термическое старение заключается в нагреве отливок до определенной температуры в печи отжига, ослаблении напряжения отливок при температуре выдержки и управлении процессом охлаждения отливок.

Добавление легирующих элементов в чугун приведет к увеличению остаточных напряжений отливок, поэтому необходимо изучить, как уменьшить остаточные напряжения отливок через конструкцию процесса отжига.

1.2.3 Химический состав КЧ

Обычно химический состав КЧ не регламентируется ГОСТ 1215-79, а определяется требованиями к его механическим и технологическим свойствам [18].

Варианты химического состава КЧ для отливок автомобильной промышленности приведены в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав КЧ для автомобильных отливок.

Завод	Марка	Содержание элементов, %					
		C	Si	Mn	S	P	Cr
ЗИЛ	КЧ35-10	2,50-2,75	0,95-1,15	0,35-0,45	≤ 0,12	0,12-0,17	≤ 0,06
УАЗ		2,45-2,65	1,10-1,30	0,30-0,45		≤ 0,17	≤ 0,08
ЯАЗ		2,40-2,60		0,60-0,80		≤ 0,18	≤ 0,07
ГАЗ			1,20-1,40	0,35-0,45	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,06
МАЗ	КЧ37-12	1,20-1,35	≤ 0,12		0,11-0,14	≤ 0,05	

Основное влияние на различные механические свойства оказывают углерод, кремний, марганец, хром, молибден [7, 14, 2].

1.3 Чугун с вермикулярным графитом

1.3.1 Характерные особенности, область применения

Элементы графита в вермикулярном чугуне имеют продольную форму, не могут иметь острых краев, и их ориентация является случайной. В то же время мы видим, что часть графита выделяется в виде небольших шариков. Сумма шаровидный графит называют узловатостью. Специфическая форма вермикулярного графита с хорошей адгезией с металлической матрицей

обеспечивает повышение механических качеств. ЧВГ все более часто применяется взамен ЧПГ для литья ответственных деталей, к которым предъявляются повышенные требования по механическим свойствам. ЧВГ успешно применяется для производства металлургической оснастки (изложницы, кокилы, поддоны), а также в дизелестроении. В табл. 3 приведены сравнительные характеристики трех видов чугунов: ЧПГ, ЧВГ и ЧШГ, в табл. 4 – физико-механические характеристики ЧВГ [2].

ГОСТ 28394-89 предусматривает четыре марки ЧВГ, их механические свойства и рекомендуемый химический состав приведены в табл. 5, 6. Химический состав оказывает существенное влияние на формирование структуры металлической основы (степень легирования, соотношение перлита и феррита, твердость и микротвёрдость), которая в свою очередь определяет уровень прочностных и пластических свойств чугуна в литом состоянии [8].

Таблица 3. Технические свойства чугунов

Свойства	ЧПГ	ЧВГ	ЧШГ
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	100-400	300-600	350-900
Предел текучести σ_t , МПа	–	250-400	250-600
Относительное удлинение δ , %	< 1,0	1,5-8,0	3-25
Ударная вязкость КС, кДж/см ²	5	30	10-200
Твердость НВ	140-300	140-240	140-250
Плотность ρ , кг/м ³	7000-7500	7000-7200	7100-7300
Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$ МПа	75-155	140-170	165-185
Теплопроводность, Вт/см ² ·К	0,46-0,59	0,38-0,50	0,25-0,38
Коэффициент терморасширения, α	10-12·10 ⁶	12·10 ⁶	9-12·10 ⁶
Электросопротивление R, мкОм/м	0,45-1,2	0,7-0,8	0,5-0,7
Линейная усадка, %	1,0-1,2	0,9-1,1	0,7-1,0
Объемная усадка, %	1-3	1-5	7-10

Таблица 4. Физико-механические характеристики ЧВГ

Микроструктура		Свойства		
		σ_b , МПа	δ , %	Твёрдость, НВ
Ферритная	литое состояние	360-410	5,0-7,0	150-160
	после отжига	360-410	3,0-4,0	150-170
Перлитно-ферритная (литое)		450-500	2,0-3,0	170-200
Перлитная (после нормализации)		530-580	1,5	300
Бейнитная (после изотермической закалки)		740-790	2,0	400

Таблица 5. Механические свойства ЧВГ различных марок

Марка чугуна	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , % не менее	НВ
ЧВГ30	300	240	3,0	130-180
ЧВГ35	350	260	2,0	140-190
ЧВГ40	400	320	1,5	170-220
ЧВГ45	450	380	0,8	190-250

Таблица 6. Химический состав ЧВГ различных марок

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg/RE
ЧВГ35	3,5-3,8	2,2-3,0	0,2-0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	–	<u>0,015-0,028</u> 0,10-0,20
ЧВГ40	3,5-3,8	2,2-2,8	0,2-0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	–	<u>0,02-0,028</u> 0,10-0,20
ЧВГ45	3,1-3,5	2,0-2,5	0,4-1,0	до 0,08	до 0,025	до 0,20	0,4-0,6	<u>0,02-0,028</u> 0,10-0,20
ЧВГ50	3,1-3,5	2,0-2,5	0,8-1,2	до 0,05	до 0,025	до 0,30	0,8-1,0	<u>0,02-0,028</u> 0,10-0,20

Замена ЧПГ на ЧШГ не всегда возможна ввиду его низких литейных свойств, а также малой теплопроводности и относительно высокого модуля упругости. В таких случаях применение ЧВГ наиболее целесообразно, поскольку по механическим свойствам он ближе к ЧШГ, а по литейным, физическим свойствам (коэффициенту линейного расширения, теплопроводности, стойкости к воздействию переменных температур) и обрабатываемости он ближе к ЧПГ [20].

Чугун с вермикулярным графитом в отличие от ЧПГ характеризуется наличием определённого диапазона, в котором сохраняется пропорциональность соотношения напряжение – относительное удлинение. Поэтому по мере роста температуры модуль упругости не изменяется вплоть до предельного напряжения для данного уровня температуры и лишь тогда быстро снижается. При температурах до 950°C скорость окисления ЧВГ достаточно низкая, так как церий замедляет образование низших окислов железа и тем самым замедляет образование окалины. Вместе с тем ферритный ЧВГ при температурах до 700°C характеризуется меньшей

склонностью к короблению, чем ЧШГ, хотя количество шаровидного графита в тонких сечениях повышается до 50% [4].

Сочетание высоких литейных, механических и теплофизических характеристик ЧВГ обусловило расширение его использования [12].

Отливки из ЧВГ, как правило, не подвергаются графитизирующей термообработке, так как структура металлической основы из-за большого отношения площади поверхности к объёму включений графита и высокой графитизирующей способности материала обеспечивается в результате кристаллизации, а для увеличения доли перлитной составляющей и прочностных свойств расплав легируют Cu, Mn, Mo, Sn и другими элементами.

1.3.2 Влияние структурных особенностей ЧВГ на работоспособность

Таблица 7. Температурная зависимость коэффициента линейного расширения α ЧВГ

T, °C	300	350	400	450	500	550	600
$\alpha \cdot 10^6, 1/^\circ\text{C}$	14,75	15,65	15,46	15,60	15,70	15,85	15,95

Тепловая проводимость ЧВГ более близка к проводимости ЧШГ и не занимает промежуточного положения между серым и высокопрочным чугунами [10].

Как и в сером чугуне, вермикулярные (компактные) включения графита – удлинённые и неориентированные, что обеспечивает такому чугуну повышенную теплопроводность и поглощение вибрации. Однако, в отличие от графитных пластин в сером чугуне, частицы компактного графита короче, толще и имеют закруглённые концы [21].

В отличие от включений графита в сером чугуне, вермикулярный графит собран вместе по типу пучков кораллов с неправильной бугристой поверхностью. Такая сложная морфология графита обеспечивает надёжную

механическую связь графита с металлической матрицей и затрудняет распространение трещин. Закруглённые концы частиц компактного графита снижают концентрацию напряжений, а бугристая поверхность увеличивает площадь сцепления графита с металлической основой. Такая морфология компактного графита обеспечивает более высокие механические характеристики этого чугуна по сравнению с серым [16].

В микроструктуре чугуна с вермикулярным графитом всегда содержится некоторое количество шаровидного графита, количество которого зависит от скорости остывания отливки. Для оптимальной жидкотекучести и термостойкости ЧВГ шаровидного графита должно быть не более 20%.

ЧВГ имеет на 70% более высокую прочность на растяжение, вдвое большую устойчивость к усталостным изменениям и на 30...40% больший модуль упругости, по сравнению с СЧ.

Высокотемпературное окислительное поведение вермикулярного железа с различными скоростями вермикулярного графита было проанализировано при 530 °С в течение 0-500 ч. По мере снижения скорости вермикулярного графита прирост массы окисления быстро уменьшался. Внутри вермикулярного железа графиты соединены между собой коралловидными каналами, которые обеспечивают путь для диффузии кислорода. Скорость окиси уменьшенная с течением времени. Графиты были главным диффузионным каналом для кислорода.

Характерное образование микроструктур графита определяет физико-механические свойства Чугунов. Графитовая морфология чугуновых структур может быть классифицирована в соответствии с их формой, расположением и размером, используя в качестве эталона микрофотографии структуры, указанные в стандартах. Эти специфические значения не обеспечивают никакой математической корреляции между микроструктурой и механическими свойствами. Применение количественного анализа изображений в микроструктурных исследованиях позволяет получить

статистически воспроизводимый метод оценки. Хотя чугуны довольно часто были в центре внимания исследовательских работ в этой области, классификация морфологии графита в основном обрабатывалась без какой-либо количественной корреляции со свойствами материала.

Типичный $MG_{res} = 0.03-0.05$ мас.ч.% необходим для получения узлового графитового (пластичного) чугуна, обладающего благоприятным дополнительным действием редкоземельных элементов (РЭ), обычно до 0,03 мас.% остаточное содержание. Обычно для образования уплотненного / вермикулярного графита необходимо 0,015-0,025 мас.ч.% $MG_{остаточный}$, но смесь морфологий графита, включая компактированное / вермикулярное и узловое / сфероидальное сформирована для меньше чем 0.03 wt.% остаточного магния, с появлением пластинчатого графита для меньше чем 0,01 мас.% MG_{res} . Оптимальное содержание нодулирующих элементов зависит от исходного уровня активных поверхностных элементов в основном железе, таких как сера и кислород, наличия анти-нодулирующих элементов и условий затвердевания отливок [1]. Как правило, более 80% узелкового графита и менее 20% уплотненного (вермикулярного) графита характеризуют обычное пластичное железо (DI), без принятия морфологии дегенерированного графита.

Высокопрочный кремниевый пластичный чугун [3,1-4,5%Si] становится все более привлекательным материалом, особенно для автомобильной промышленности, так как легированный кремнием феррит приводит к повышенным прочностным свойствам, с разумной пластичностью, к более сильному контролю за изменением твердости и, следовательно, лучшим условиям обрабатываемости, особенно важным для производства деталей большой серии. Более высокое содержание кремния известно как благоприятный фактор для образования коренастого графита в структуре, когда относительное удлинение было сильно ограничено; этому дефекту обычно противодействовали Ce / Sb или Bi. Также установлено, что предварительным условием для достижения оптимизированных свойств

являются хорошо сформированные графитовые конкреции, достижимые с помощью специальных методов инокуляции, адаптированные к высокому содержанию Si и скорости затвердевания.

Установлено, что отклонение с использованием сферы в качестве эталона частиц графита заметно увеличивается при легировании кремнием, когда характеристика частиц графита оказывается большей по периметру, что приводит к большой категории. Фактор формы сферичности, учитывающий реальный периметр частицы, рекомендуется использовать при оценке узловой структуры в высокопрочном si-пластичном железе вместо фактора формы округлости, включающего максимальный феррит, который в настоящее время включен в стандарт ISO 945.

1.3.3 Особенности технологии получения и морфологии графитных включений в ЧВГ

Технология получения ЧВГ состоит из следующих операций:

- предварительная десульфурация (по необходимости);
- обработка с целью получения вермикулярной формы графита;
- вторичное (графитизирующее) модифицирование.

Этот чугун как новый конструкционный материал представляет также интерес в связи с требованиями техники безопасности и норм промышленной санитарии. Получение вермикулярного графита надежнее обеспечивает применение в качестве модификаторов редкоземельных металлов (РЗМ), что позволяет избежать пироэффекта и образования дыма при обработке жидкого металла [20]. Надо подчеркнуть, что эффект обработки жидкого металла церием затухает медленнее, чем эффект обработки магниевыми лигатурами при ВЧШГ.

Ферритные si-Mo пластичные чугуны широко используются для применения выпускных коллекторов в автомобильной промышленности благодаря их общим достаточным высокотемпературным механическим свойствам, удовлетворительной стойкости к окислению и относительно

низкой стоимости по сравнению с высоколегированными аустенитными сплавами. Однако их применение неизбежно ограничивается температурой фазового превращения феррита в аустенит, а также снижением защитной способности оксидов кремния при повышенной температуре. В связи с постоянным повышением КПД двигателя и более частым использованием биогазового топлива, температура выхлопных газов увеличивается и стремится к 800°C, что близко к температурному пределу текущего материала SiMo51, что делает необходимым поиск подходящих альтернатив. Хотя можно найти аустенитные чугуны и стали с лучшей производительностью, промышленность желает более экономичное решение: дальнейшее улучшение ферритных SiMo Чугунов для удовлетворения новых требований.

Различие в морфологии графитной фазы предопределяется различной линейной скоростью диффузионного роста графитных включений в условиях контакта с жидким расплавом и через аустенитную оболочку [3,27,32].

Важный фактор с точки зрения обеспечения стабильности технологии модифицирования – предел расхода добавок, при котором кристаллизуется ВГ. РЗМ в порядке возрастания сфероидизирующего действия располагаются следующим образом: La < Pr < Nd < Ce. Из перечисленных РЗМ лантан имеет наибольший концентрационный интервал образования ВГ и не образует собственных карбидов [31, 13].

1.3.4 Обрабатываемость ЧВГ

Обрабатываемость ЧВГ зависит от типа металлической основы, количества, формы и распределения графитных включений. Ферритная структура металлической основы у ЧВГ в большей степени, чем у ЧШГ, способствует лучшей обрабатываемости при одинаковых химических составах и идентичных условиях кристаллизации [30, 9, 25]. Поэтому сопротивление резанию и изнашивание инструмента при обработке ЧВГ

меньше, чем при обработке ЧШГ, но больше, чем при обработке ЧПГ. При одинаковой прочности детали из ЧВГ с феррито-перлитной структурой обрабатываются лучше, чем из перлитного ЧПГ. Увеличение доли перлита в структуре металлической основы повышает прочность и твёрдость и ухудшает обрабатываемость в большей степени, чем ЧПГ [29, 35].

1.3.5 Применение ЧВГ в автомобилестроении

Отечественные и зарубежные автопроизводители широко применяют ЧВГ для изготовления следующих автомобильных деталей:

- КамАЗ – для картерных деталей (взамен ВЧ50), блок цилиндров (взамен СЧ25) – ЧВГ35;
- DAF – блок цилиндров дизельного двигателя (SinterCast);
- AUDI – блок цилиндров (двигатель 3,3 л V8 TDI);
- BMW – блок цилиндров (двигатель 3,9 л V8d);
- УралАЗ – картер раздаточной коробки, тормозной барабан, маховик, картер редуктора лебёдки, картер сцепления;
- ЧТЗ – поршень;
- Escher Wiss – корпус турбоагрегата;
- Caterpillar – блок цилиндров, головка блока цилиндров;
- INTERCAST&FORGE – рычаг ручного тормоза, кронштейн вентилятора, соединительные патрубки маслоприводов, шкив сервопривода, корпус промежуточного редуктора, вилки рычага переключения передач.

Министерство Энергетики США выделило грант в размере 3,47 млн. \$ университету штата Алабама в Бирмингеме (отдел материаловедения и инженерных исследований) для развития новых сплавов для головок блоков цилиндров и блоков цилиндров из ЧВГ сельскохозяйственной, внедорожной и строительной техники компании Caterpillar. ЧВГ рассматривается как

прогрессивный материал для обеспечения более высокого давления в цилиндрах и повышения эффективности двигателя [23].

Компания SinterCast разработала наиболее широко используемый технологический процесс получения ЧВГ. Она выдает лицензии на процесс получения ЧВГ литейным заводам во всем мире, работающим на автомобилестроение, которые используют его, чтобы запустить в производство более 50 компонентов. SinterCast заявляет, что целью данной работы является разработка экономически эффективных, высокопрочных литейных материалов, которые поддерживают увеличение удельной мощности (мощность/вес) и повышенной тепловой эффективности для тяжелых дизельных двигателей.

1.3.6 Современные методы оценки графитовых включений

По мере того как новые компоненты задумываются и разрабатываются в этом контексте, часто требуется информация о результирующих механических и усталостных характеристиках, которая обычно получается либо путем лабораторных испытаний прототипов, либо с помощью компьютерного моделирования. Очевидно, что первая процедура всегда более надежна, чем вторая, однако она требует больше времени и затрат, поскольку прототип должен быть изготовлен, испытан и оценен. Следовательно, возрастает промышленный спрос на точные методы моделирования, с тем чтобы быть менее зависимыми от ресурсоемких прототипов и сократить время выхода на рынок [24, 28].

Концепция имитационного проектирования не нова и часто применяется в инженерных областях. Обычно он включает анализ конечных элементов (FE), который часто включает оценку усталостной долговечности, когда компонент подвергается циклическим нагрузкам, как в случае многих компонентов двигателя. Обе модельные процедуры требуют конститутивных моделей материалов, которые представляют собой уравнения, описывающие термомеханическое поведение материалов. Однако было показано, что чугун

является очень сложным материалом в отношении его механического поведения.

В настоящее время существует примерно два типа подходов к конститутивному моделированию, используемых для чугуна: феноменологические и микромеханические модели. Первый тип моделей, как правило, основан на основе классической теории пластичности и термодинамики необратимых процессов. Кроме того, необходимо добавить дополнительную сложность к моделям, предназначенным для чугуна, с тем чтобы учесть вышеупомянутые аномалии. В частности, были рассмотрены более сложные функции выхода, для того, чтобы воспроизвести асимметрию напряжения. В отличие от этого, последний подход заключается в исследовании усредненного механического поведения построенного объемного элемента, представляющего микроструктуру, т. е. а процедура гомогенизации. В прошлом рассматривались различные подходы к выбору подходящих репрезентативных объемных элементов (RVE) для чугуна, такие как модульно-клеточный подход и явное моделирование FE экспериментально наблюдаемой микроструктуры с использованием методов микроскопии или томографии. В целом, внимание этих исследований было сосредоточено на влиянии фазовых включений графита на общее механическое поведение. Это в отличие от области микромеханики, занимающейся поликристаллическими металлами, которая скорее занимается гомогенизацией деформационного поведения разноориентированных монокристаллических зерен [34].

Современные программы предоставляют практически полный сервис, будь то с точки зрения материалов, механики, технологии или других областей, связанных с выполнением инженерных работ. С помощью анализа изображения было на образцах оценено количество графитовых элементов, их содержание и форма. Такие обработанные результаты были использованы в качестве входных параметров для анализа напряжений в окрестности графитовых элементов с помощью метода модели конечных элементов и программы ADINA.

Решение задач современной технической практики глубоко связано с вычислительными технологиями. Современные вычислительные методы тесно связаны с формированием виртуальной модели и последующим моделированием операционного процесса. Работа посвящена изучению чугуна с вермикулярным типом графита, его химическому составу, структуре и механическим свойствам. Форма графитовых элементов влияет на величину собственных частот и напряжений в их окрестности. Поэтому очень важной является также количественная металлография, позволяющая оценить структурные параметры, описываемые этими элементами. Полученные параметры необходимы для подготовки геометрической модели и последующего численного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций в программе ADINA.

Элементы графита в вермикулярном чугуне имеют продольную форму, не могут иметь острых краев и их ориентация случайна. В то же время мы видим, что часть графита выделяется в виде небольших шариков. Количество шаровидного графита называется узловатостью. Специфическая форма вермикулярного графита с хорошей адгезией к собственной металлической матрице обеспечивает повышение механических качеств.

На нетравленных образцах были с помощью анализа изображений получены входные параметры для численного анализа. Микроструктура подготовленных образцов снималась камерой микроскопа, а сцена передавалась в компьютер. Из записи сцены были определены графитовые элементы-пороговый метод. С места происшествия затем были исключены включения и после установления конструктивных параметров была проведена оценка. Эта процедура проводилась для чугуна с вермикулярной и чугуна с шаровидной формой графита.

В отличие от шаровидной формы графита были обнаружены элементы графита в морфологии чугуна с вермикулярным графитом, характеризующиеся широким диапазоном значений формообразующих факторов. Представленный метод количественной оценки формы применим для нарезанного, червячного,

несовершенно зернистого и регулярно зернистого графита; в ограниченном масштабе-для паукообразного или слоистого графита.

Решение математической модели заменяет эксперимент на реальную систему-симуляцию. Исследуемый вопрос анализируется детерминированно, в том числе с использованием численных методов. Модельное решение осуществляется с помощью программной системы. Важным фактором при моделировании задачи при наличии напряженных состояний и их оценке в выбранной нами программе ADINA, является плотность сети и тип применяемого элемента. С помощью расчетной модели был проведен анализ чувствительности к изменению распределения величины натяжения в окрестности графитового элемента. На основе анализа чувствительности мы установили размер элементов 0,0005 мм. по определенному размеру элементов достигается достаточная точность решения, при которой отклонение не превышает 2,5%.

Для элементов вермикулярной и шаровидной формы и для оценки качества графитового элемента необходимо было определить геометрические характеристики, которые будут описывать такой элемент. Точное описание границ графитовых элементов будет получено в ходе оценки результатов МКЭ-анализа. Форма графитового элемента оказывает существенное влияние на величину собственных частот, а также на состояние натяжения в его окрестности. Если мы хотим оценить качество графитового элемента, то нам необходимо определить геометрические характеристики, описывающие этот элемент. В качестве входных параметров будут использоваться полученные характерные данные оптического анализа сцены. Матрица рассматривалась как однородная структура с линейной зависимостью деформация-растяжение. Графитовый элемент для вермикулярной и шаровидной формы представляет собой полость, которая будет смоделирована таким образом, что на его место не будет формировать конечные элементы сети. Такое моделирование графитовых элементов допустимо в отношении их качеств, таких как низкая прочность вытягивания и частая дезагрегация из матрицы [35].

Из результатов анализа видно, что форма графитового элемента оказывает существенное влияние на величину собственных частот, а также на состояние напряженности в его окрестности. Графические элементы вызывают в матрице концентрацию напряжения. Величина концентрации натяжения будет зависеть от формы графитовых элементов. По полученным результатам можно сказать, что концентрация напряжений обусловлена неравномерностью графитового элемента. Численный анализ условий натяжения чугуна с вермикулярной формой графита был решен методом конечных элементов в программе ADINA. Модель МКЭ была создана на основе оценки микроструктуры и анализа изображений. Результаты анализов могут дать исходную информацию о качествах системы или структуры материала еще до начала технологической обработки на практике.

1.4 Результаты сравнительного анализа чугунов разных типов и выбор наиболее рационального

Из анализа табл. 8 следует, что для повышения надежности и долговечности поршней наиболее подходящим по комплексу свойств является ЧВГ. Он имеет достаточно высокие показатели физико-механических свойств и при повышенных температурах (табл. 9).

Таблица 8. Свойства чугунов с различной формой графита

Материал	σ_b , МПа	δ , %	λ , Вт/м·°С	$E \cdot 10^6$, МПа	Твёрдость, НВ	$\alpha \cdot 10^{-6}$	Объем усадочной раковины, V_{up} , %
СЧ	100-400	1	50-60	7,5-15,5	190-250	10,5	1
КЧ	200-500	2-12	35-40	16-18,5	160-260	10,5	3,5
ЧВГ	350-500	2-6	42-50	14-16	170-220	10,5	2,2
ЧШГ	350-900	3-25	25-3	16-18,5	140-300	10,5	5,6

Таблица 9. Свойства ЧВГ при различных температурах, °С

Свойства/ температура, °С	20	100	200	300	400	500	600
σ_b , МПа	480	480	475	450	400	380	300
δ , %	3	5	6	7	4	5	5
$E \cdot 10^6$, МПа	15,19	14,89	14,62	14,11	13,42	13,03	11,44
λ , Вт/мК	48	45,5	42,5	40	38,5	38	37,5

Таким образом, проведя анализ найденной информации можно сказать, что чугун очень популярный конструкционный материал и обладает отличными механическими свойствами. Эти свойства напрямую зависят от химического состава, а именно от легирующих добавок, применяемых на производстве. Так же можно сказать, что на сегодняшний день существует очень много качественных и современных методов оценки структуры для чугунов.

Глава 2 Материалы, образцы, оборудование, методы испытаний и исследований

2.1 Характерные зоны для исследования

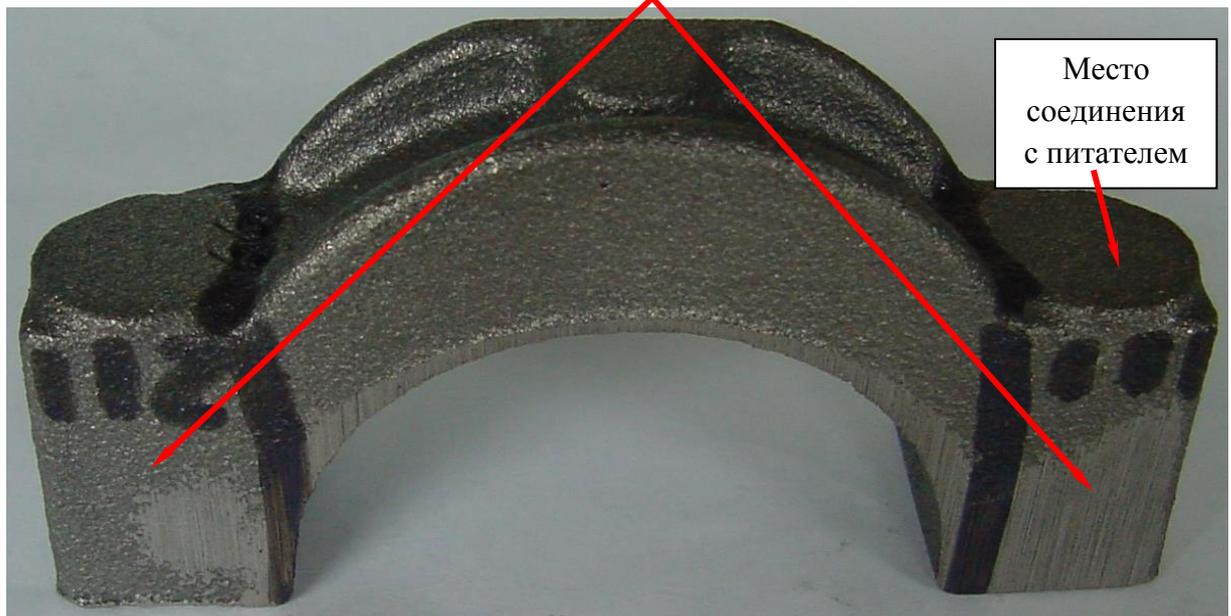
Для рассмотрения некоторых механических свойств, таких как твердость (по Бринеллю) временное сопротивление и микроструктуры были выделены характерные зоны из испытуемых деталей. На рисунке 5 представлена схема отбора образцов.



Рисунок 5 – Характерные зоны для исследования детали «Картер редуктора заднего моста»

Аналогично, для другой исследуемой детали «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» изготавливались из 2-х зон (рис. 6).

Зоны вырезки образцов для анализа микроструктуры и определения твёрдости по Бринеллю №№1, 2



Место соединения с питателем

Рисунок 6 – Характерные зоны для исследования «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

Для испытаний на одноосное растяжение изготавливался образец, как представлена на рисунке 7.

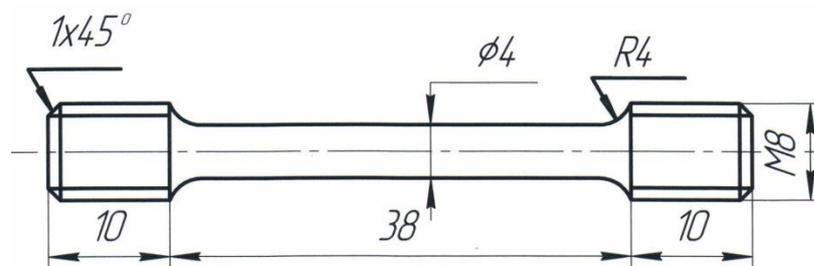


Рисунок 7 – Эскиз образца для испытаний на одноосное растяжение

Испытания на жёсткость и ударно-скоростные испытания деталей «Картер редуктора заднего моста» и «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» проводились в составе узла «Редуктор заднего моста».

Данная серия испытаний была необходима для оценки возможностей и поведения исследуемого материала на основе чугуна в реальных условиях эксплуатации.

2.2 Оборудование и методики проведения испытаний и исследований

Для того чтобы получить необходимый химический состав чугуна на производстве добавления модифицирующих материалов производилось в верхнем углу ковша (рисунок 8). Такой вид введения материала обеспечивает возможность лучшего перемешивания основного состава с модификатором.

Именно качественное смешивание материала может гарантировать пониженное сочетание нежелательных примесей и наибольшую точность химического состава.

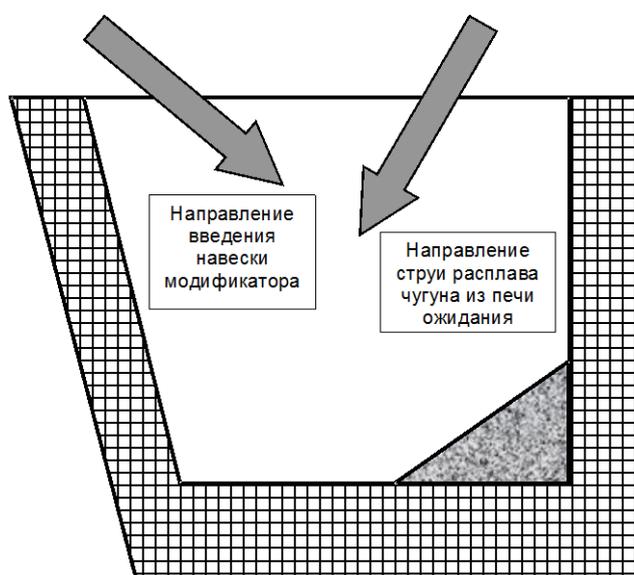


Рисунок 8 – Введение модификатора Compastrmag® при модифицировании способом «заливка сверху»

В ходе проведения испытаний стало понятно, что наиболее показательной зоной для оценки жёсткости материала являются главные точки на крыше подшипника [15].

Для того, что бы оценить жесткость материала в исследовании использовали два метода оценки:

Сущность 1-го метода заключается в ступенчатом нагружении заднего моста приводной машиной, при постепенном увеличении в 10 кг, и максимальном наружности в 100 кг. По мимо этого машина была поставлена на торможение и задний мост находился во вращательном движении.

Сущность 2-го метода была направлена на растяжения корпусных деталей в момент, когда они были в сборе.

Таким образом, данная глава посвящена описанию выбора характерных зон испытываемых деталей. Так же большое внимание уделяется описанию методов испытания, с точным указанием какой метод помогает оценивать определенную искомую характеристику.

Для исследования механических свойств использовалась Универсальная машина UTS 100 (рисунок 9).



Рисунок 9 - Универсальная машина UTS 100

Для контроля химического состава использовали спектр анализатор. А для оценки микроструктуры использовался металлографической микроскоп (рисунок 10).



Рисунок 10 – Световой металлографический микроскоп UNIMET 8585

Твердость при испытаниях измеряли на твердомере (рисунок 11).



Рисунок 11 - Твердомер ТБ 5004

Глава 3 Исследуемые детали и материалы для их изготовления

3.1 Сведения о деталях 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» и условиях их работы

Картер редуктора заднего моста представляет собой корпусную деталь, в которой размещается главная передача и дифференциал, закрепляемый двумя крышками подшипника дифференциала заднего моста, имеет фланец для крепления к балке заднего моста.

В свое данные детали входят в состав редуктора, предназначенного для передачи крутящего момента к ведущим колёсам автомобиля и выравнивания их скоростей.

Рабочие температуры для обеих деталей: $-40...+120^{\circ}\text{C}$.

Рабочая внутренняя среда – трансмиссионное масло.

3.2 Отечественные и зарубежные материалы, используемые для изготовления деталей 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

Отечественные и зарубежные автопроизводители для изготовления детали «Картер редуктора заднего моста» применяют следующие материалы:

- ГАЗ (для автомобилей ГАЗ-3309, ГАЗ 3307) – КЧ37-12;
- КРАЗ – ЧШГ;
- КамАЗ (для автомобилей КамАЗ-53229, КамАЗ-53215) – ЧШГ;
- Грейдер Д-598 – ЧШГ марки ВЧ42-12;
- МАЗ (для автомобиля МАЗ-5335) – КЧ;
- ЗИЛ – КЧ марки КЧ45-7;
- УРАЛ – ЧШГ марки ВЧ50;
- АЗЛК (для автомобиля Москвич-2140) – Сталь;

- ИжАвто (для автомобиля Иж-2126-062 «Ода») – Алюминиевый сплав;
- Квадроцикл Stels B500 – Алюминиевый сплав;
- Honda (для автомобиля Honda CR-V) – Алюминиевый сплав;
- Toyota (для автомобиля Toyota Rav4 New) – Алюминиевый сплав (силумин).

Зарубежные автопроизводители для изготовления детали «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» применяют следующие материалы:

- Chevrolet (для автомобилей Aveo, Lacetti) – СЧ марки GL03;
- Hyundai (для автомобиля Accent) – ЧШГ марки GS50.

Данная глава описывает конструктивное расположение объекта диссертационного исследования с описанием того как и из каких материалов получают их разные автопроизводители.

Глава 4 Получение опытных отливок и результаты их исследования

4.1 Получение исследуемых отливок

Первая часть исследования была направлена на процесс изготовления отливок. Для дальнейших исследований было очень важно суметь в рамках производства изготовить опытные отливки для оценки возможности в первую очередь производства материала, а так же проведения дальнейших испытаний для подтверждения рациональности предложенного чугуна с вермикулярной формой графита (табл. 10):

«Картер редуктора заднего моста» – 2 партии в количестве 8 шт. и 4 шт. отливки отобраны в произвольном порядке с формы, залитой сразу после замера температуры расплава чугуна в ковше;

«Крышка подшипника дифференциала заднего моста» – 1 партия в количестве 24 шт., отливки отобраны в произвольном порядке с формы, залитой сразу после замера температуры расплава чугуна в ковше.

Таблица 10. Химический состав полученных отливок

№ п/п	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Sn	Mg
1	3,71	1,90	0,34	0,019	0,007	0,063	0,20	0,020	–
	3,61	2,13	0,60	0,020	0,007	0,062	0,52	0,021	0,015
2	3,75	1,91	0,34	0,015	0,006	0,062	0,25	0,015	–
	3,60	2,00	0,50	0,016	0,007	0,061	0,56	0,015	0,013
3	3,65	1,87	0,43	0,015	0,006	0,053	0,15	0,012	–
	3,65	1,98	0,55	0,015	0,008	0,053	0,50	0,016	0,010

Таблица 11. Технологические параметры получения отливок

№ п/п	Дата, № плавки	Т _{печи} , °С	Т _{зал.} , °С	Масса металла в ковше, кг	Расход Compartmag ®, кг/ковш	Ковшечная доводка по химсостав у
1	04.03.2014 г., 272	1470	1420	1105	2,65	ФМн78, медь
2	24.04.2014 г., 517	1490	1465	1098	2,65	ФМн78, медь
3	24.03.2014 г., 379	1500	1455	1096	2,65	ФМн78, медь
Норматив	–	1480±20	1445±15	1100±20	–	–

Во второй части работы была проведена оценка различных важных для эксплуатации свойств при механических воздействиях, а так же большое внимание было уделено микроструктуре и ковшевому расходу модификатора Compartmag® (табл. 12-14) .

Для проведения испытаний было изготовлено 4 партии отливок. Они были распределены на оценку структуры и механических свойств.

Таблица 12. Химический состав в печи после введения модификатора

№ п/п	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Mg
1	3,69	1,90	0,32	0,015	0,008	0,078	0,030	0,18	0,011
	3,60	2,10	0,32	0,015	0,006	0,052	0,030	0,60	0,012
2	3,70	1,90	0,31	0,019	0,008	0,05	0,030	0,18	0,015
	3,66	1,99	0,31	0,020	0,008	0,050	0,030	0,61	0,015
3	3,72	1,90	0,35	0,017	0,007	0,046	0,250	0,21	0,012
	3,60	2,05	0,35	0,019	0,006	0,047	0,026	0,60	0,012
Норматив (в печи)	3,6-3,8	1,9-2,0	0,3-0,4	≤ 0,06	≤ 0,012	≤ 0,07	0,55-0,65	≤ 0,03	–

Таблица 13. Технологические параметры получения отливок «Картер редуктора заднего моста»

№ п/п	Дата, № плавки	T _{печн.} , °C	T _{зал.} , °C	Масса металла в ковше, кг	Расход Сомракта g®, кг/ковш	Ковшевая доводка по химсоставу
1	02.06.14 г., 633	1500	1460	1102	2,88	Медь
2	08.07.14 г., 777	1500	1450	1096	2,88	Медь
3	10.07.14 г., 787	1500	1455	1100	2,88	Медь
Норматив	–	1480±20	1445±15	1100±20	2,88	–

Таблица 14. Печной/ковшевой химический состав чугуна опытных партий отливок «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

№ п/п	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Mg
1	3,65	1,92	0,39	0,018	0,008	0,049	0,28	0,027	–
	3,61	2,00	0,38	0,019	0,007	0,049	0,50	0,025	0,009
2	3,70	1,94	0,30	0,018	0,006	0,056	0,24	0,032	0,013
	3,64	2,04	0,29	0,018	0,005	0,056	0,50	0,032	0,014
3	3,66	1,80	0,35	0,018	0,008	0,078	0,18	0,044	0,014
	3,56	2,03	0,36	0,019	0,008	0,078	0,50	0,044	0,014
4	3,72	2,00	0,35	0,015	0,006	0,055	0,17	0,030	0,019
	3,62	2,07	0,36	0,016	0,007	0,056	0,51	0,029	0,020
5	3,79	1,83	0,33	0,018	0,007	0,049	0,18	0,026	0,012
	3,60	2,00	0,32	0,018	0,007	0,049	0,48	0,027	0,011
Норматив (в печи)	3,6-3,8	1,9-2,0	0,3-0,4	≤ 0,06	≤ 0,012	≤ 0,07	0,45-0,55	≤ 0,03	–

4.2 Результаты определения параметров микроструктуры и их анализ

В таблицах 15-18 представлены результаты оценки микроструктуры образцов. Перед началом оценки из образцов вырезали несколько потенциально важных для исследования мест. Точные характерные зоны приведены во 2 главе. Согласно проведенным исследованиям структура типичная для чугуна с вермикулярным графитом.

Таблица 15. Результаты металлографических исследований чугуна в отливках «Картер редуктора заднего моста»

Отливка	№ образца, его расположение	Микроструктура	
		Графит	Металлическая основа
1	1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~60%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 30%	Феррито-перлитная (50×50%)
	1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (50×50%)
	1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (55×45%)
	1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 65%	Феррито-перлитная (50×50%)
2	2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 45%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (55×45%)
	2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~45%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 40%	Феррито-перлитная (60×40%)

Продолжение таблицы 15

3	3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (50×50%)
	3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (60×40%)
	3-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%	Перлито-ферритная (55×45%)
	3-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%	Перлито-ферритная (55×45%)
	3-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (55×45%)
	3-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 40%	Перлито-ферритная (55×45%)
	3-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 45%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 45%	Перлито-ферритная (70×30%)
Требование к ЧВГ40 для отливки 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста»		ВГф2, ВГф3; ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 – не более 20%, ≤ ШГд25 до 80%; ПГф1, ПГф2 – не более 15%	Перлит пластинчатый, феррит (их соотношение не оговаривается); цементит не более 5%

Таблица 16. Результаты металлографических исследований чугуна в отливках «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

Отливка	№ образца, его расположение	Микроструктура	
		Графит	Металлическая основа
1	1-1 (площадка возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито-перлитная (80×20%)
	1-2 (площадка напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито-перлитная (55×45%)

Продолжение таблицы 16

2	2-1 (площадка возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 75%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 20%;	Феррито- перлитная (80×20%)
	2-2 (площадка напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито- перлитная (60×40%)
3	3-1 (площадка возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито- перлитная (75×25%)
	3-2 (площадка напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 60%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 20%;	Феррито- перлитная (70×30%)
Требование к ЧВГ40 для отливки 2101-2402019 «Корпус подшипника дифференциала заднего моста»		ВГф2, ВГф3; ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 – не более 20%, ≤ ШГд25 до 80%; ПГф1, ПГф2 – не более 15%	Перлит пластинчатый, феррит (их соотношение не оговаривается); цементит не более 5%

Таблица 17. Результаты металлографических исследований чугуна в отливках «Картер редуктора заднего моста»

№ п/п	Отли вка	№ образца, его расположение	Микроструктура	
			Графит	Металлическ ая основа
1	1.1	1-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 70%	Феррито- перлитная (60×40%)
		1-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 75%	Перлитно- ферритная (50×50%)
		1-1.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%; ≤ ШГд25 ~ 45%	Перлитно- ферритная (60×40%)
		1-1.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%; ≤ ШГд25 ~ 80%	Феррито- перлитная (60×40%)
		1-1.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%; ≤ ШГд25 ~ 80%	Феррито- перлитная (70×30%)

Продолжение таблицы 17

	1-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 75%	Перлитно-ферритная (55×45%)
	1-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%; \leq ШГд25 ~ 80%	Перлитно-ферритная (55×45%)
1.2	1-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%; \leq ШГд25 ~ 40%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (50×50%)
	1-1.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%; \leq ШГд25 ~ 50%	Перлитно-ферритная (55×45%)
	1-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (70×30%)
	1-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (70×30%)
	1-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%; \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (55×45%)
2.1	1-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%; \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (80×20%)
	1-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%; \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-2.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%; \leq ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (50×50%)
	1-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%; \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (60×40%)
	1-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%; \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (80×20%)

Продолжение таблицы 17

1		1-2.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 80%	Перлитно- ферритная (55×45%)
		1-2.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 75%	Перлитно- ферритная (60×40%)
	2.2	1-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%; ≤ ШГд25 ~ 60%	Феррито- перлитная (70×30%)
		1-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%; ≤ ШГд25 ~ 65%	Феррито- перлитная (70×30%)
		1-2.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%; ≤ ШГд25 ~ 50%	Феррито- перлитная (50×50%)
		1-2.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 80%	Феррито- перлитная (70×30%)
		1-2.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%; ≤ ШГд25 ~ 70%	Феррито- перлитная (80×20%)
		1-2.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%; ≤ ШГд25 ~ 75%	Феррито- перлитная (60×40%)
		1-2.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%); графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%; ≤ ШГд25 ~ 80%	Феррито- перлитная (60×40%)
	2	1.1	2-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;
2-1.1-2 (фланец напротив питателя)			Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
2-1.1-3 (площадка у горловины)			Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
2-1.1-4 («ножка» в зоне питателя)			Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Феррито- перлитная (55×45%)
2-1.1-5 («ножка» в зоне питателя)			Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (70×30%)

Продолжение таблицы 17

2		2-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 50%;	Феррито-перлитная (70×30%)	
		2-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%;	Перлитно-ферритная (60×40%)	
	1.2		2-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 40%;	Перлитно-ферритная (50×50%)
			2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 45%;	Перлитно-ферритная (60×40%)
			2-1.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 80%;	Феррито-перлитная (60×40%)
			2-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 50%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 30%;	Перлитно-ферритная (60×40%)
			2-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 55%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
			2-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (70×30%)
			2-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%;	Перлитно-ферритная (60×40%)
	2.1		2-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (80×20%)
			2-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 50%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
			2-2.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 40%;	Перлитно-ферритная (60×40%)
			2-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
			2-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 65%;	Феррито-перлитная (70×30%)

Продолжение таблицы 17

3		2-2.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 80%;	Феррито- перлитная (80×20%)
		2-2.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Перлитно- ферритная (50×50%)
	2.2	2-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
		2-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 45%;	Перлитно- ферритная (70×30%)
		2-2.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 45%;	Перлитно- ферритная (70×30%)
		2-2.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≤ ШГд25 ~ 60%;	Перлитно- ферритная (55×45%)
		2-2.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 60%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 20%;	Перлитно- ферритная (55×45%)
		2-2.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
		2-2.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 80%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
	1.1	3-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 50%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 30%;	Феррито- перлитная (55×45%)
		3-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (50×50%)
		3-1.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 75%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 5%;	Перлитно- ферритная (80×20%)
		3-1.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (55×45%)
		3-1.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 50%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 45%;	Феррито- перлитная (80×20%)

Продолжение таблицы 17

3		3-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≤ ШГд25 ~ 80%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (50×50%)
	1.2	3-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (55×45%)
		2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (70×30%)
		3-1.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
		3-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито- перлитная (50×50%)
		3-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (80×20%)
		3-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 60%;	Перлитно- ферритная (50×50%)
	2.1	3-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-2.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 60%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 20%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 55%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Феррито- перлитная (70×30%)

Продолжение таблицы 17

3		3-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≤ ШГд25 ~ 80%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (50×50%)
	1.2	3-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (55×45%)
		2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (70×30%)
		3-1.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Перлитно- ферритная (60×40%)
		3-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 70%;	Феррито- перлитная (50×50%)
		3-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%;	Феррито- перлитная (80×20%)
		3-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 60%;	Перлитно- ферритная (50×50%)
	2.1	3-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 40%;	Феррито- перлитная (70×30%)
		3-2.1-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 60%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 20%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 55%;	Феррито- перлитная (60×40%)
		3-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 50%;	Феррито- перлитная (70×30%)

Продолжение таблицы 17

3	2.1	3-2.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 50%;	Перлитно-ферритная (65×35%)
		3-2.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
	2.2	3-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 45%;	Феррито-перлитная (55×45%)
		3-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 50%;	Феррито-перлитная (50×50%)
		3-2.2-3 (площадка у горловины)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 40%;	Перлитно-ферритная (80×20%)
		3-2.2-4 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 65%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
		3-2.2-5 («ножка» в зоне питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (60×40%)
		3-2.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 60%;	Перлитно-ферритная (50×05%)
		3-2.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 50%;	Перлитно-ферритная (55×45%)
	Требование к ЧВГ40 для отливки 2101-2402018 «Каргер редуктора заднего моста»		ВГф2, ВГф3; ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 – не более 20%, \leq ШГд25 до 80%; ПГф1, ПГф2 – не более 15%	Перлит пластинчатый, феррит (их соотношение не оговаривается); цементит не более 5%

Таблица 18. Результаты металлографических исследований чугуна в отливках «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

№ п/п	Отливка	№ образца, его расположение	Микроструктура		
			Графит	Металлическая основа	
1	1.1	1-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 50%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		1-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 45%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 50%	Перлито-ферритная (70×30%)	
	1.2	1-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		1-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%	Перлито-ферритная (55×45%)	
	1.3	1-1.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		1-1.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Перлито-ферритная (50×50%)	
	2.1	1-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (75×25%)	
		1-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Перлито-ферритная (60×40%)	
	2.2	1-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 70%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 25%	Феррито-перлитная (60×40%)	
		1-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 60%	Перлито-ферритная (65×35%)	
	2.3	1-2.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 50%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (70×30%)	
		1-2.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 60%	Перлито-ферритная (70×30%)	
	2	1.1	2-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 35%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (60×40%)
			2-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 55%	Перлито-ферритная (55×45%)

Продолжение таблицы 18

2	1.2	2-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 70%	
		2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 15%, ≤ ШГд25 ~ 70%	
	1.3	2-1.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 65%	
		2-1.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 55%	
	2.1	2-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 75%	
		2-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 75%	
	2.2	2-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 75%	
		2-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 80%	
	2.3	2-2.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 80%	
		2-2.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 80%	
	3	1.1	3-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 50%
			3-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 20%, ≤ ШГд25 ~ 60%
1.2		3-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 10%, ≤ ШГд25 ~ 60%	
		3-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 ≥ ШГд45 ~ 5%, ≤ ШГд25 ~ 80%	

Продолжение таблицы 18

3	1.3	3-1.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 65%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		3-1.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 65%	Перлито-ферритная (80×20%)	
	2.1	3-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		3-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (70×30%)	
	2.2	3-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (85×15%)	
		3-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (85×15%)	
	2.3	3-2.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 65%	Феррито-перлитная (75×25%)	
		3-2.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 80%	Перлито-ферритная (70×30%)	
	4	1.1	4-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (80×20%)
			4-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (55×45%)
1.2		4-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 75%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 20%	Феррито-перлитная (80×20%)	
		4-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 25%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (60×40%)	
1.3		4-1.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5 ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (75×25%)	
		4-1.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 60%), графит шаровидный ШГф5 ШГф4 \geq ШГд45 ~ 20%, \leq ШГд25 ~ 20%	Феррито-перлитная (70×30%)	

Продолжение таблицы 18

4	2.1	4-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 65%	Феррито-перлитная (85×15%)
		4-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (70×30%)
	2.2	4-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (85×15%)
		4-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10 %, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (75×25%)
	2.3	4-2.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (70×30%)
		4-2.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (80×20%)
5	1.1	5-1.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 30%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 60%	Феррито-перлитная (85×15%)
		5-1.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 60%	Перрито-ферритная (55×45%)
	1.2	5-1.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 45%	Феррито-перлитная (80×20%)
		5-1.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 40%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \leq ШГд25 ~ 60%	Перрито-ферритная (60×40%)
	1.3	5-1.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (85×15%)
		5-1.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (60×40%)
	2.1	5-2.1-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (85×15%)
		5-2.1-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 80%	Феррито-перлитная (60×40%)

Продолжение таблицы 18

5	2.2	5-2.2-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (85×15%)
		5-2.2-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 10%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 15%, \leq ШГд25 ~ 75%	Феррито-перлитная (70×30%)
	2.3	5-2.3-1 (фланец возле питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 20%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 10%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (80×20%)
		5-2.3-2 (фланец напротив питателя)	Графит вермикулярный ВГф2, ВГф3 (~ 15%), графит шаровидный ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 ~ 5%, \leq ШГд25 ~ 70%	Феррито-перлитная (55×45%)
		Требование к ЧВГ40 для отливки 2101-2402019 «Корпус подшипника дифференциала заднего моста»	ВГф2, ВГф3; ШГф5, ШГф4 \geq ШГд45 – не более 20%, \leq ШГд25 до 80%; ПГф1, ПГф2 – не более 15%	Перлит пластинчатый, феррит (их соотношение не оговаривается); цементит не более 5%

Характерная микроструктура чугуна в отливках исследуемых корпусных деталей приведена на рисунке 12. Там мы можем отчетливо видеть формы графитовых включений присутствующих в отливках. Например, если рассмотреть правую верхнюю микроструктуру, можно сказать, что там преобладает червеобразная форма включений, что соответствует форме графита в ЧВГ, и этот факт свидетельствует о том, что это действительно чугун с вермикулярным графитом, однако так же можно наблюдать и круглую форму графита разного диаметра. Это нормальный фактор при оценки структуру чугуна с вермикулярным графитом.

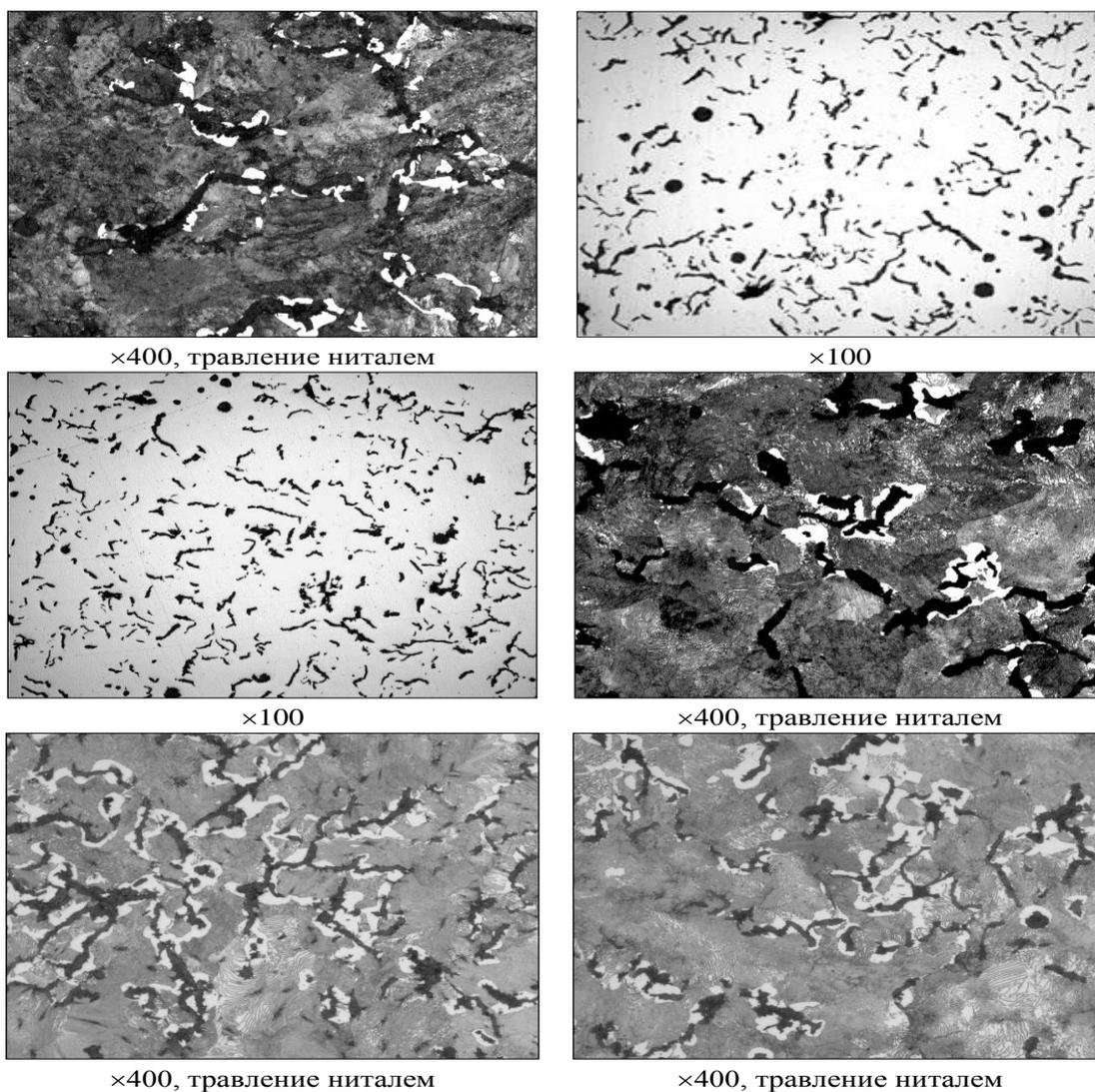


Рисунок 12 – Характерная микроструктура образцов из чугуна в отливках 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Корпус подшипника дифференциала заднего моста»

4.3 Результаты определения механических свойств и их анализ

Для получения результатов отраженных в таблицах 19, 20 были отобраны образцы из ранее описанных во 2 главе контрольных точек, которые испытывают максимальные механические нагрузки в процессе эксплуатации автомобиля.

Таблица 19. Результаты определения механических свойств чугуна в отливках «Картер редуктора заднего моста»

№ п/п	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
1	429	303	3,2
2	476	321	5,1
3	456	324	4,2
Требования СТП 37.101.9778-2004	≥ 400	–	$\geq 1,5$

Таблица 20. Результаты определения прочностных свойств чугуна в «Картер редуктора заднего моста»

№ п/п		σ_B , МПа*	$\sigma_{0,2}$, МПа*	δ , %*
1	1	445	327	4,9
	2	465,5	326,5	5,35
2	1	439,5	304,5	3,55
	2	429	290	3,5
3	1	427	311	3,8
	2	407,5	305	3,1
Требования СТП 37.101.9778-2004		≥ 400	–	$\geq 1,5$

* Средние значения, полученные на двух образцах.

Анализируя полученные таблицы можно сказать что ЧВГ 40 является материалом полностью отвечающим эксплуатационным характеристикам.

4.4 Результаты определения твёрдости по Бринеллю и их анализ

Твердость по Бринеллю один из самых основных механических характеристик, которые могут предъявляться к чугунам. В работе для исследования этих показателей было использовано несколько характерных зон описанных во 2 главе.

Таблица 21. Результаты определения твёрдости по Бринеллю

Отливк а	№ образца, его расположение	НВ _{5/750/} 20
1	1-1 (фланец возле питателя)	191- 201
	1-2 (фланец напротив питателя)	207
	1-3 (площадка у горловины)	195- 201
	1-4 («ножка» в зоне питателя)	201- 207
	1-5 («ножка» в зоне питателя)	195- 201
	1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	207
	1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	201- 207
2	2-1 (фланец возле питателя)	195- 202
	2-2 (фланец напротив питателя)	211- 215
	2-3 (площадка у горловины)	202- 209
	2-4 («ножка» в зоне питателя)	211
	2-5 («ножка» в зоне питателя)	207- 211
	2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	219
	2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	217- 219
3	3-1 (фланец возле питателя)	191- 202
	3-2 (фланец напротив питателя)	211
	3-3 (площадка у горловины)	211
	3-4 («ножка» в зоне питателя)	201- 207
	3-5 («ножка» в зоне питателя)	201
	3-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	211
	3-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	211
Требование чертежа к отливке 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста», ГОСТ 7293-85		170- 220

Таблица 22. Результаты определения твёрдости по Бринеллю в корпусной исследуемой корпусной детали

Отливка	№ образца, его расположение	НВ _{5/750/20}
1	1-1 (фланец возле питателя)	182
	1-2 (фланец напротив питателя)	197-217
2	2-1 (фланец возле питателя)	182-187
	2-2 (фланец напротив питателя)	207-217
3	3-1 (фланец возле питателя)	182
	3-2 (фланец напротив питателя)	207-213
Требование чертежа к отливке 2101-2402019 «Корпус подшипника дифференциала заднего моста», ГОСТ 7293-85		170-220

Таблица 23. Результаты определения твёрдости по Бринеллю чугуна в отливках «Картер редуктора заднего моста»

№ п/п	Отливка	№ образца, его расположение	НВ _{5/750/20}
1	1.1	1-1.1-1 (фланец возле питателя)	207
		1-1.1-2 (фланец напротив питателя)	207
		1-1.1-3 (площадка у горловины)	207
		1-1.1-4 («ножка» в зоне питателя)	191-198
		1-1.1-5 («ножка» в зоне питателя)	191-198
		1-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	198-207
		1-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	198-207
	1.2	1-1.2-1 (фланец возле питателя)	198
		1-1.2-2 (фланец напротив питателя)	198-207
		1-1.2-3 (площадка у горловины)	198
		1-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	191-198
		1-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	207-211
		1-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	198-207
		1-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	211-215
	2.1	1-2.1-1 (фланец возле питателя)	191
		1-2.1-2 (фланец напротив питателя)	198
		1-2.1-3 (площадка у горловины)	191-198
		1-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	198-207
		1-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	191
		1-2.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	198-207
		1-2.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	198-207
	2.2	1-2.2-1 (фланец возле питателя)	191
		1-2.2-2 (фланец напротив питателя)	198
		1-2.2-3 (площадка у горловины)	191-198
		1-2.2-4 («ножка» в зоне питателя)	195-198
		1-2.2-5 («ножка» в зоне питателя)	191

Продолжение таблицы 23

2	1.1	2-1.1-1 (фланец возле питателя)	196-200
		2-1.1-2 (фланец напротив питателя)	205,210
		2-1.1-3 (площадка у горловины)	200-205
		2-1.1-4 («ножка» в зоне питателя)	200
		2-1.1-5 («ножка» в зоне питателя)	196-200
		2-1.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	210
		2-1.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	210
	1.2	2-1.2-1 (фланец возле питателя)	190-196
		2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	210
		2-1.2-3 (площадка у горловины)	198
		2-1.2-4 («ножка» в зоне питателя)	190-200
		2-1.2-5 («ножка» в зоне питателя)	187-190
		2-1.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	210-216
		2-1.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	216-220
	2.1	2-2.1-1 (фланец возле питателя)	191-198
		2-2.1-2 (фланец напротив питателя)	198
		2-2.1-3 (площадка у горловины)	191-198
		2-2.1-4 («ножка» в зоне питателя)	198
		2-2.1-5 («ножка» в зоне питателя)	198
		2-2.1-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	211
		2-2.1-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	211-213
	2.2	2-2.2-1 (фланец возле питателя)	191
		2-2.2-2 (фланец напротив питателя)	209
		2-2.2-3 (площадка у горловины)	200-204
		2-2.2-4 («ножка» в зоне питателя)	200
		2-2.2-5 («ножка» в зоне питателя)	197-200
		2-2.2-6 («ножка» в зоне напротив питателя)	219
		2-2.2-7 («ножка» в зоне напротив питателя)	209
Требование чертежа к отливке 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста», ГОСТ 7293-85			170-220

Таблица 24. Результаты определения твёрдости по Бринеллю чугуна в отливках «Крышка подшипника дифференциала заднего моста»

№ п/п	Отливка	№ образца, его расположение	НВ _{5/750/20}
1	1.1	1-1.1-1 (фланец возле питателя)	187
		1-1.1-2 (фланец напротив питателя)	207
	1.2	1-1.2-1 (фланец возле питателя)	174-187
		1-1.2-2 (фланец напротив питателя)	207-211
	1.3	1-1.3-1 (фланец возле питателя)	187-189
		1-1.3-2 (фланец напротив питателя)	207
	2.1	1-2.1-1 (фланец возле питателя)	182-184
		1-2.1-2 (фланец напротив питателя)	215-219
	2.2	1-2.2-1 (фланец возле питателя)	182-187
		1-2.2-2 (фланец напротив питателя)	215-219
	2.3	1-2.3-1 (фланец возле питателя)	177-189
		1-2.3-2 (фланец напротив питателя)	215-219

Продолжение таблицы 24

2	1.1	2-1.1-1 (фланец возле питателя)	175-178
		2-1.1-2 (фланец напротив питателя)	198-205
	1.2	2-1.2-1 (фланец возле питателя)	175-198
		2-1.2-2 (фланец напротив питателя)	191-195
	1.3	2-1.3-1 (фланец возле питателя)	175-178
		2-1.3-2 (фланец напротив питателя)	195-198
	2.1	2-2.1-1 (фланец возле питателя)	178-181
		2-2.1-2 (фланец напротив питателя)	206-211
	2.2	2-2.2-1 (фланец возле питателя)	171-174
		2-2.2-2 (фланец напротив питателя)	199-206
2.3	2-2.3-1 (фланец возле питателя)	171-178	
	2-2.3-2 (фланец напротив питателя)	199-211	
3	1.1	3-1.1-1 (фланец возле питателя)	175-179
		3-1.1-2 (фланец напротив питателя)	195-198
	1.2	3-1.2-1 (фланец возле питателя)	187
		3-1.2-2 (фланец напротив питателя)	204-215
	1.3	3-1.3-1 (фланец возле питателя)	179
		3-1.3-2 (фланец напротив питателя)	215
	2.1	3-2.1-1 (фланец возле питателя)	179
		3-2.1-2 (фланец напротив питателя)	195-204
	2.2	3-2.2-1 (фланец возле питателя)	175-179
		3-2.2-2 (фланец напротив питателя)	195
2.3	3-2.3-1 (фланец возле питателя)	179-187	
	3-2.3-2 (фланец напротив питателя)	211-215	
4	1.1	4-1.1-1 (фланец возле питателя)	179-184
		4-1.1-2 (фланец напротив питателя)	207-211
	1.2	4-1.2-1 (фланец возле питателя)	179-184
		4-1.2-2 (фланец напротив питателя)	198-207
	1.3	4-1.3-1 (фланец возле питателя)	179-184
		4-1.3-2 (фланец напротив питателя)	191-207
	2.1	4-2.1-1 (фланец возле питателя)	184-191
		4-2.1-2 (фланец напротив питателя)	198
	2.2	4-2.2-1 (фланец возле питателя)	179-184
		4-2.2-2 (фланец напротив питателя)	191-198
5	1.1	5-1.1-1 (фланец возле питателя)	179-184
		5-1.1-2 (фланец напротив питателя)	215
	1.2	5-1.2-1 (фланец возле питателя)	179-184
		5-1.2-2 (фланец напротив питателя)	198-207
	1.3	5-1.3-1 (фланец возле питателя)	179-184
		5-1.3-2 (фланец напротив питателя)	207-215
	2.1	5-2.1-1 (фланец возле питателя)	179-184
		5-2.1-2 (фланец напротив питателя)	207-215
	2.2	5-2.2-1 (фланец возле питателя)	179
		5-2.2-2 (фланец напротив питателя)	191-198
2.3	5-2.3-1 (фланец возле питателя)	179-184	
	5-2.3-2 (фланец напротив питателя)	198-215	
Требование чертежа к отливке 2101-2402019 «Корпус подшипника дифференциала заднего моста», ГОСТ 7293-85			170-220

Из полученных значений, проведя анализ, можно сделать вывод что исследуемый материал достигает заданной твердости, регламентированной ГОСТ 7293-85 .

4.5 Результаты натурных испытаний в узле

4.5.1 Результаты испытаний на жёсткость и их анализ

В таблице 25 проиллюстрированы результаты реальных испытаний на жесткость в составе узла.

Таблица 25. Результаты испытаний по 1-му методу

№ РЗМ	Направление приложения крутящего момента		Величина смещения крышек в зависимости от приложенного крутящего момента, мм									
			10 кг·м	20 кг·м	30 кг·м	40 кг·м	50 кг·м	60 кг·м	70 кг·м	80 кг·м	90 кг·м	100 кг·м
3	Передний ход	нагружение	0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09
		разгрузка	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,10	0,11	0,15	0,14	0,09
	Обратный ход	нагружение	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,24	0,32	0,35
		разгрузка	0,05	0,13	0,25	0,38	0,45	0,50	0,50	0,42	0,37	0,35
4	Передний ход	нагружение	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11
		разгрузка	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13	0,12	0,11
	Обратный ход	нагружение	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,09	0,16	0,23	0,28	0,32
		разгрузка	0,05	0,14	0,23	0,38	0,47	0,49	0,50	0,40	0,35	0,32
5	Передний ход	нагружение	0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09
		разгрузка	0,02	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09
	Обратный ход	нагружение	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,15	0,24	0,30	0,34
		разгрузка	0,05	0,13	0,26	0,40	0,48	0,51	0,51	0,42	0,37	0,34
6	Передний ход	нагружение	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
		разгрузка	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07
	Обратный ход	нагружение	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,12	0,22	0,29	0,35	0,44
		разгрузка	0,11	0,30	0,46	0,58	0,59	0,60	0,60	0,51	0,46	0,44

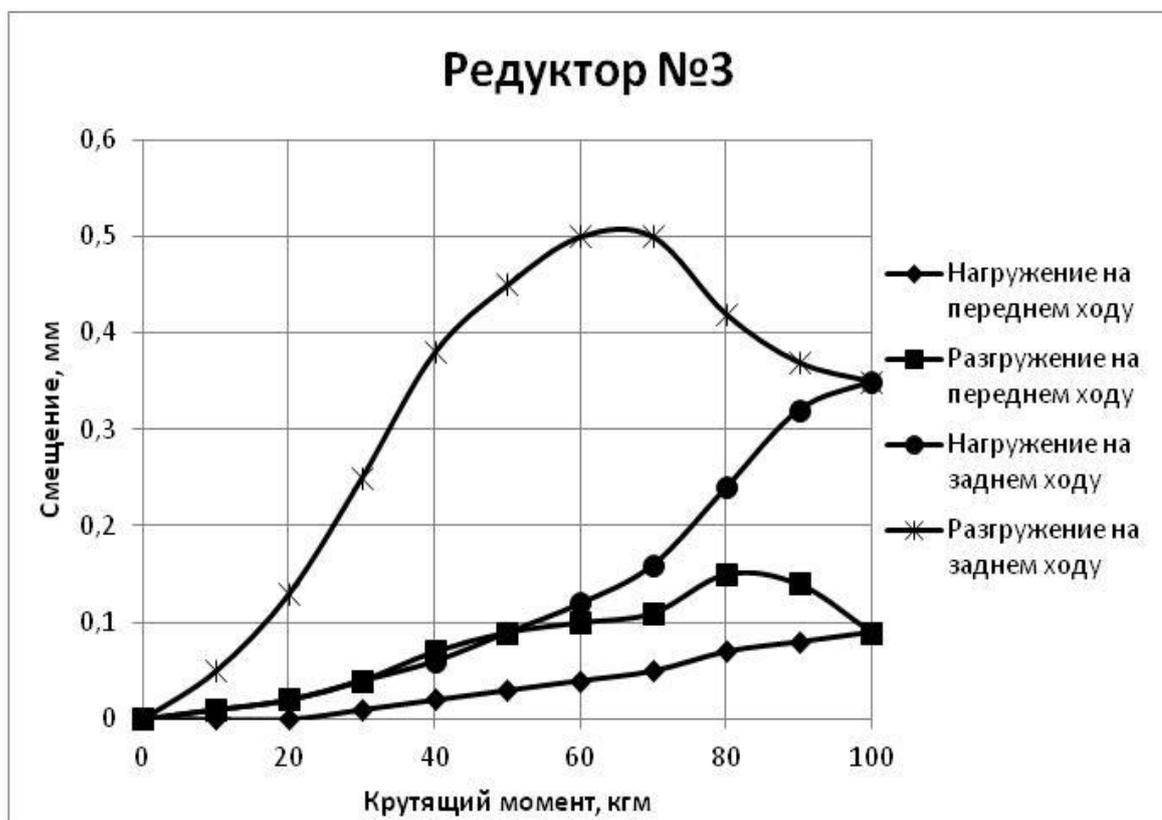


Рисунок 13 – Зависимость смещения крышек подшипника дифференциала заднего моста от крутящего момента (редуктор №3)

Данный график иллюстрирует, что при увеличении крутящего момента, увеличивается и смещение. Однако при разгрузке на заднем ходу кривая ведет себя иначе, что соответствует реальным условиям эксплуатации испытываемых деталей.

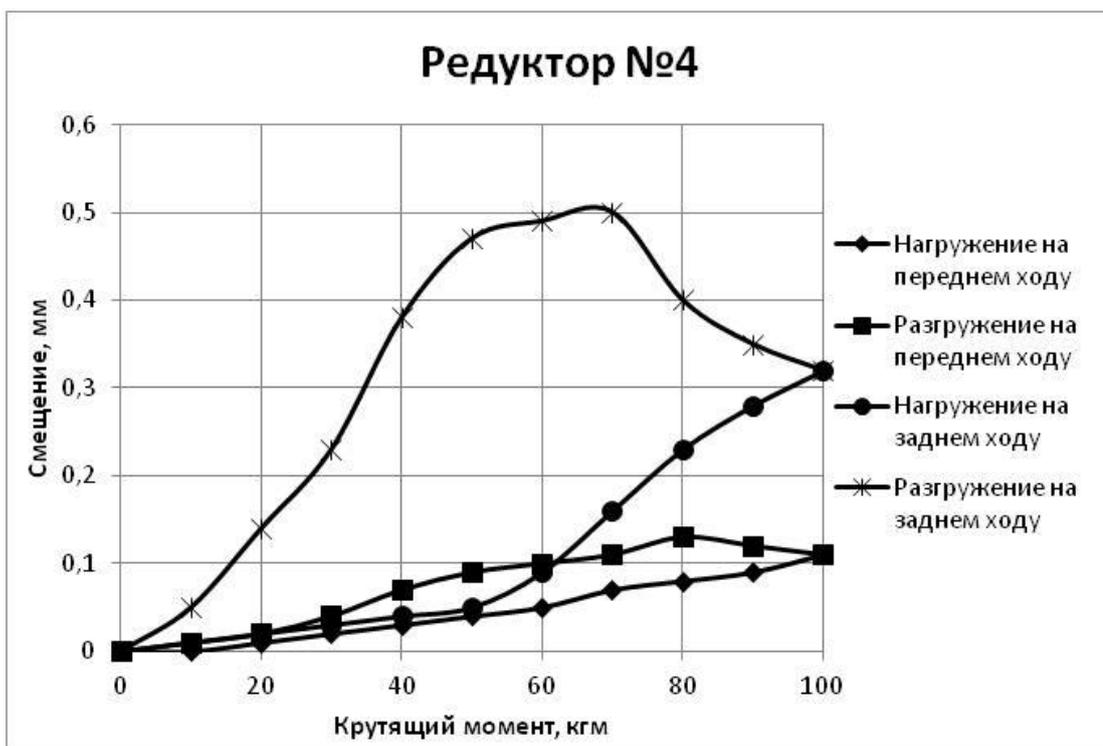


Рисунок 14 – Зависимость смещения крышек подшипника дифференциала заднего моста от крутящего момента (редуктор №4)

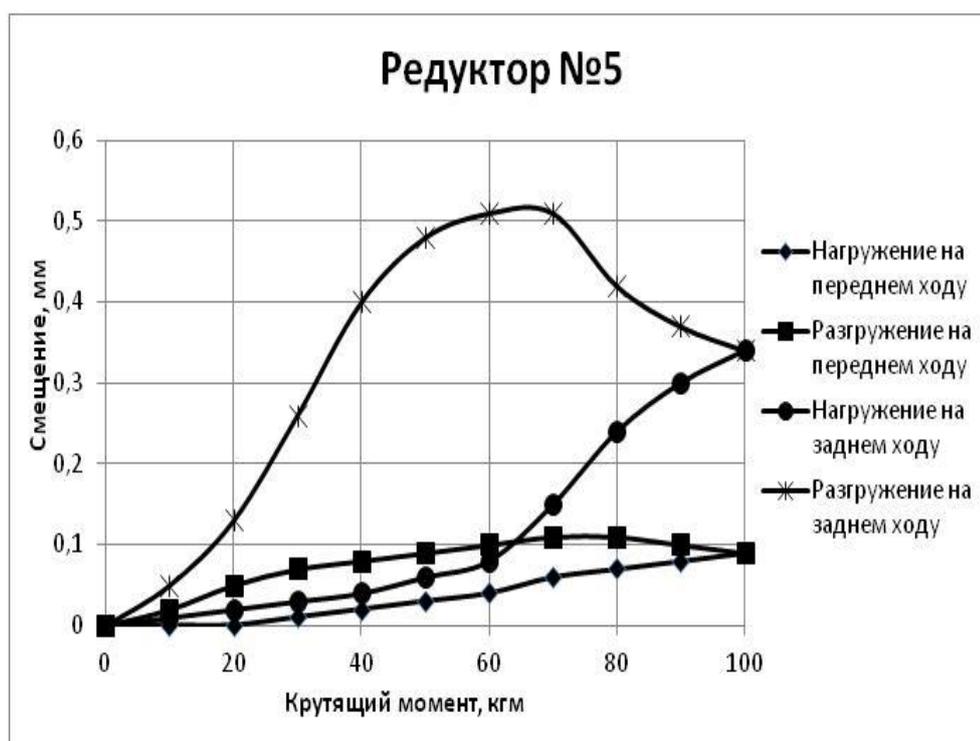


Рисунок 15 – Зависимость смещения крышек подшипника дифференциала заднего моста от крутящего момента (редуктор №5)

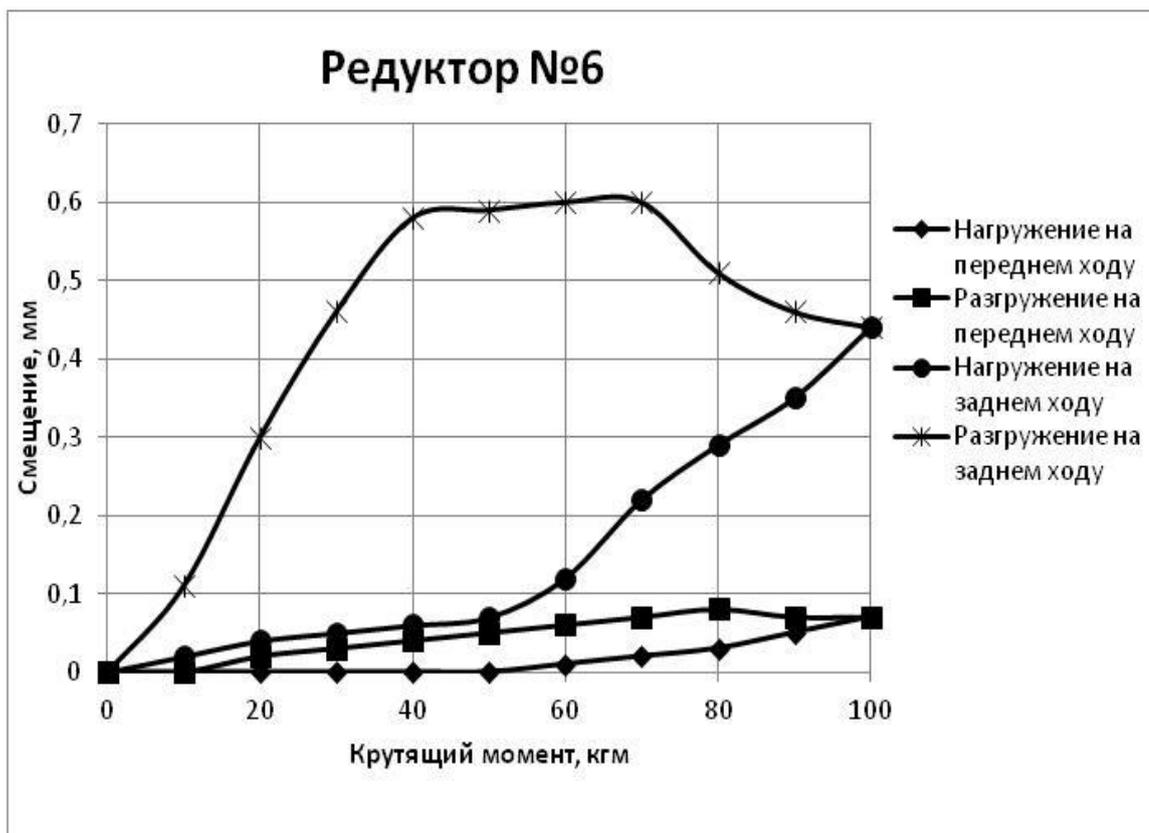


Рисунок 16 – Зависимость смещения крышек подшипника дифференциала заднего моста от крутящего момента (редуктор №6)

После испытаний по 1-му методу редуктора заднего моста разбирались и дальнейшие работы проводились на картерах с крышками в сборе. Результаты испытаний по 2-му методу приведены в табл. 26 и на рисунке 17

Таблица 32. Результаты испытаний по 2 – му методу

Условный № картера РЗМ	Нагрузка на растяжение, кг					
	200	400	600	800	1000	1200
Величина деформации, мм						
3	0,08	0,30	0,52	0,72	0,83	1,09
4	0,13	0,35	0,56	0,66	0,75	1,03
5	0,11	0,28	0,45	0,65	0,78	0,92
6	0,13	0,34	0,48	0,69	0,82	1,01

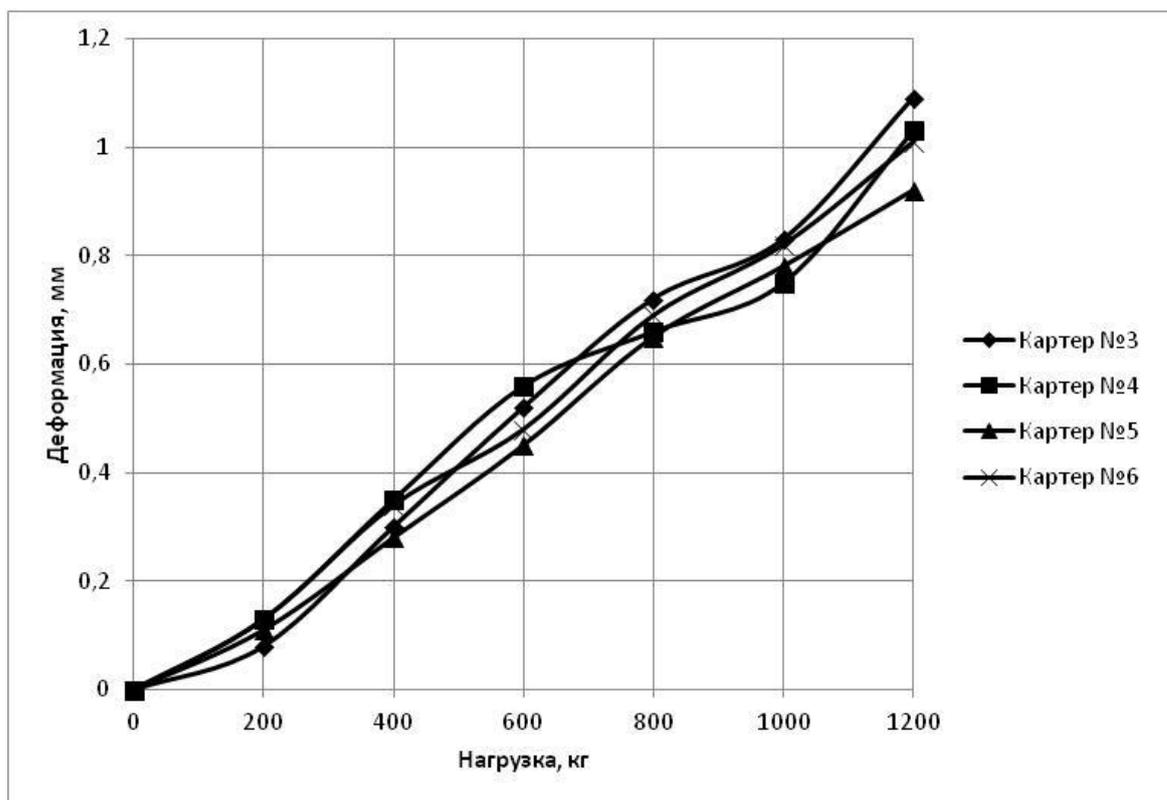


Рисунок 17 – Зависимость величины деформации посадочных мест подшипников дифференциала от нагрузки

4.5.2 Результаты испытаний на ударную прочность

Анализ полученных результатов дает возможность сделать вывод о том, что при работе в различных режимах работы автомобиля нет случаев не удовлетворительной работы. То есть исследуемый материал можно позиционировать как надежный аналог существующему, так как схож, а в чем то даже превосходит его механические и эксплуатационных качества. В таблице 33 отражены результаты поведения зазора.

Можно заметить что наблюдается падение натяга, но это естественный фактор в условиях реальной работы детали в конструкции узла. Это не приводит к каким либо эксплуатационным дефектам.

Таблица 27. Результаты оценки зазора

№ редуктора	Зазор в главной передаче		Натяг в подшипниках дифференциала	
	до испытания	после испытания	до испытания	после испытания
1	0,09	0,13	0,35	0,25
2	0,06	0,11	0,34	0,21

В этой главе были описаны все полученные результаты, а так же проведен их анализ и сделаны выводы о целесообразности использования исследуемого химического состава ЧВГ для корпусных деталей автомобиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был разработан химический состав чугуна с вермикулярным графитом на основе марки ЧВГ40 для изготовления отливок 2101-2402018 «Картер редуктора заднего моста» и 2101-2402019 «Крышка подшипника дифференциала заднего моста» (табл. 28):

Таблица 28. Разработанный химический состав ЧВГ

Химический состав, %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Sn
3,6-3,8	1,9-2,0	0,5-0,6	≤ 0,012	≤ 0,06	≤ 0,07	0,5-0,6	≤ 0,03

Для достижения поставленных задач было реализовано следующее:

Обобщена и проанализирована информация научно-технических источников о конструкционных чугунах и его перспективной альтернативной замене с вермикулярным графитом. Приведены подробные, обширные сведения об особенностях их получения, технологических и механических свойств (в т. ч. при повышенных и пониженных температурах), влияния на них химического состава и микроструктуры, показана их традиционная область применения (в т.ч. и в автомобильной промышленности), а также тенденция расширяющегося применения ЧВГ как автомобильного материала. Проведён сравнительный анализ всех типов конструкционных чугунов (СЧ, КЧ, ЧВГ и ЧШГ) по физико-механическим свойствам с признанием ЧВГ наиболее рациональным. Предложен и экономически обоснован предлагаемый химический состав ЧВГ, разработаны требования к его микроструктуре и механическим свойствам на основе требований к ЧВГ40.

По результатам проведённых исследований в рамках магистерской диссертации было установлено, что чугун с вермикулярным графитом марки ЧВГ40 может использоваться для изготовления деталей «Картер редуктора заднего моста» и «Крышка подшипника дифференциала заднего моста».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров Н. Н., Мильман В. С., Ильичёва Л. В. Технология получения и свойства чугуна с вермикулярным графитом / Литейное производство. 1976. №8. С. 12-14.
2. Влияние элементов на свойства чугуна. – Режим доступа: http://steelcast.ru/vliyanie_elementov_na_svoystva_chuguna. (Дата обращения 24.04.2020).
3. Выбор оптимального материала для автомобильных деталей / Тематическая справка. ОАО «АВТОВАЗ». ДТР. УПиЭП. ОНТИ. – 2001. – С. 32.
4. Жуков А. А., Янченко А. Б., Давыдов С. В. Технологически стабильные процессы получения чугуновых отливок повышенной прочности и пластичности // Литейное производство. 1992. №1. С. 12-14.
5. Золотухин А. А. Влияние марганца и редкоземельной лигатуры на температуропроводность и электросопротивление синтетических серых чугунов. / Препр. Объед. Ин-т высоких температур РАН. 2000. №1-451. С. 1-29.
6. Изменение структуры и свойств чугуна. – Режим доступа: https://studopedia.ru/5_58369_izuchenie-strukturi-i-svoystv-chugunov. (Дата обращения: 22.04.2020).
7. Конструкционные материалы / Б. Н. Арзамасов. – Режим доступа: <http://booksonchemistry.com/index.php?id1=3&category=promproizv&author=arzasov-bn&book=1990&page=37> . (Дата обращения: 22.04.2020).
8. Литейные свойства чугуна / Н.Г. Гришович. – Режим доступа: <https://чугунные-колосники.рф/fluidity-iron>. (Дата обращения 24.04.2020).
9. Литовка В. И., Ткачук И. В., Бех Н. И., Ерышканов Е. А. Чугун с вермикулярным графитом // Литейное производство. 1989. №1. С. 3-6.
10. Литовка В. И., Ткачук И. В., Бех Н. И., Ерышканов Е. А. Чугун с вермикулярным графитом // Литейное производство. 1989. №1. С. 20-22

- 11.Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин. – Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/pg3391125WIVIWJX0001046994> . (Дата обращения: 22.04. 2020).
- 12.Нехтельбергер Е. Получение, свойства и область применения чугуна с вермикулярным графитом // Литейное производство. 1986. №9. С. 7-9.
- 13.Перегудов Л. В., Цвеленьев Б. В., Конечны Л., Бехны Л. Чугун с вермикулярным графитом и технологии его получения // Литейное производство. 1982. №10. С. 5-6
- 14.Процесс получения ковких чугунов. Влияние примесей на процесс графитизации. Применение ковких чугунов. – Режим доступа: https://studopedia.su/15_56935_protssess-polucheniya-kovkih-chugunov-vliyanie-primesej-na-protssess-grafitizatsii-primenenie-kovkih-chugunov. (Дата обращения 24.04.2020).
- 15.Скрябина М.М. ЧВГ для корпусных средненагруженных деталей автомобиля / М.М. Скрябина, Д.А. Болдырев // Литейщик России. – 2020. – № 3. – С. 31-39.
- 16.Солнцев Л. А., Костина Л. Л. Особенности перераспределения углерода при нагреве чугуна с вермикулярным графитом / Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. 1984. №5. С. 62-63.
- 17.Термическая обработка отливок из КЧ. – Режим доступа: https://studopedia.su/9_66947_grafitiziruyushchiy-otzhig-otlivok-iz-belogo-chuguna. (Дата обращения: 22.04.2020).
- 18.Центральный металлический портал РФ. – Режим доступа: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/chu/kovkii_chugun. (Дата обращения: 22.04.2020).
- 19.Чумаченко Ю. Н. Материаловедение и слесарное дело / Ю. Н. Чумаченко. – М.: КноРус, 2013. – 294 с.
- 20.Энциклопедия машиностроения XXL. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/page/056053220126015243047014113066201210191241003063>. (Дата обращения 24.04.2020).

21. Bezedova R. Comparison of Numerical Analysis of Stress-Strain States of Cast Iron with Vermicular Graphite Shape and Globular Graphite Shape / R. Bezedova // *Procedia Engineering*. – 2016. – № 136. – p. 28-32.

22. Costes M. La fonte a graphite compact-vermiculaire // *Hommes Fonderia*. 1982. №128. P. 21-32

23. Evans E. R., Dawson J. W., Lalich M. I. Compacted graphite cast iron and their production by single alloy addition // *AFS Int. Cast Metals*. – 1976. – №2. – P. 13-18.

24. Nechtelberger E., Pühr H., Nesselrode I. B., Nakayasu A. S. Cast iron with vermicular compacted graphite - State of the Art. Development, Production, Properties, Application // *49th Int. Foundry Congress*. Chicago. 14-17 Apr. 1982. 17 p.

25. Norman V. On the micro- and macroscopic elastoplastic deformation behaviour of cast iron when subjected to cyclic loading / V. Norman // *International Journal of Plasticity*. – 2019. – № 115. – p. 200-215.

26. Riposan I. Comportement au choc thermique des fontes a differentes formes de graphite // *48-eme Congres International de fonderie*. Varna. – 1981. P.1.

27. Riposan J., Sofroni L. Stahlwerks kokilen aus hochofenei sen min vermikulargraphit // *Giess-Prax*. 1977. №19. S. 289-294

28. Sergeant G. F., Evans E. R. The production and properties of compacted graphite irons // *British Foundryman*. 1978. №5. P. 115-124

29. Shen Zeji. The vermiculizing effect of individual RE elements on graphite in cast iron // *New front Rare Earth. Sei and Appl. Proc. Inter. Conference Beijing*. Sept. 10-14. 1985. V. 2. P. 1369-1405

30. Stefanescu D., Loper C. R. New fortschritte and dem Gebiet des Gußeisens Vermiculargraphit // *Giess-Prax*. 1981. №5. S. 73-60

31. Sykora P. Zkusenosti s vyrobou litany s cervikovitym grafitem na zaklade domacich surovin // *Zbornik prednasok. Ochkova dla a predzliatiny*. Zilina. 1985. S. 3-12

32. Talar R. Evaluation of physical indicators and tool wear during grooving of spheroidal cast iron with a novel WCCo/cBN (BNDCC) inserts / R. Talar // Wear. – 2020. – № 455. – p. 203.

33. Vondrak V., Havrlant S. Technologie odlevani motorovych skrimi z litany s cervikovitym grafitem // Slevarestvi. 1980. 28. №8. S. 326-328.

34. Yamada H., Tanaka T. Обработка чугуна с вермикулярным графитом // Имоно. Imono, I. Jap. Foundrymen's Soc. 1986. V. 58. №12. P. 843-848.