

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

Институт Машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Современные материалы и технологии их производства

(направленность (профиль)/ специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Разработка технологии изготовления высокопрочного чугуна с
вермикулярным графитом марки ВЧ для кронштейнов крепления заднего
тормоза»

Обучающийся Н.К. Долоскова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель Д.А. Болдырев, д-р техн. наук, проф. каф. НМиМ

(ученая степень, звание, Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

АННОТАЦИЯ

Название дипломной работы: «Разработка технологии изготовления и исследования высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом марки ВЧ40 для кронштейнов крепления заднего тормоза».

Выпускная работа состоит из пояснительной записки на 57 страниц, введения, 39 рисунков, 18 таблиц, списка литературы из 18 наименований, в том числе 5 иностранных источников.

Цель работы - разработать метод получения гибридного высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом и установить его приемлемую обрабатываемость для кронштейнов крепления задних тормозов автомобилей VESTA SW и XRAY Cross.

Дипломная работа может быть разделена на несколько логически связанных частей, которыми являются: анализ материалов, используемых другими производителями для изготовления кронштейнов крепления задних тормозов и выбор подходящего по свойствам и стоимости материала для производства; описание методики и оборудования для проведения испытаний; результаты испытаний.

В конце исследования мы представляем работу по успешному внедрению нового материала в серийное производство для изготовления детали кронштейна крепления заднего тормоза, который экономичен в производстве и обладает наилучшими свойствами для этой детали.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна в будущем для производителей, которые ищут новый материал для своих средненагруженных деталей.

ABSTRACT

The title of the graduation work is «Development of production technology of high-strength cast iron with vermicular graphite of VCh grade for brackets fixing the rear brake ».

The graduation work consists of an explanatory note on 58 pages, introduction, including 39 figures, 18 tables, the list of 18 references including 5 foreign sources.

The aim of the work is to develop a method of producing hybrid high-strength cast iron with spheroidal and vermicular graphite and to establish its acceptable workability for rear brake mounting brackets for VESTA SW and XRAY Cross cars.

The graduation may be divided into several logically connected parts which are: an analysis of the materials used by other manufacturers to manufacture rear brake mounting brackets and the choice of a suitable material for production in terms of properties and cost; a description of the techniques and equipment to be tested; the results of the tests.

Finally, we present the work on the successful new material to be introduced into serial production for the production of a rear brake mounting bracket part which is economical to produce and has the best properties for this part.

In conclusion we'd like to stress this work is relevant in the future for manufacturers who are looking for a new material for their critical parts.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	9
1.1 Применяемость кронштейнов крепления заднего тормоза в составе легкового автомобиля и материалы для их изготовления	9
1.2 Высокопрочный чугун с шаровидным графитом марки ВЧ50 как исходный материал для кронштейнов крепления заднего тормоза: характеристики, область применения	12
1.3 Высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом марки ВЧ40-1: характеристики, область применения и перспективы использования для кронштейнов крепления заднего тормоза	15
2 Материалы, образцы и методы испытаний и исследований	19
3 Результаты испытаний и исследований. Обоснование достаточности стендовых испытаний без дорожных	27
3.1 Результаты сравнительного прочностного расчета по математической модели деталей кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов	28
3.2 Получение отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна марки ВЧ40-1. Определение химического состава	34
3.3 Результаты оценки микроструктуры отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна марки ВЧ40-1	35
3.4 Результаты определения механических свойств отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна ВЧ40-1	39
3.5 Результаты стендовых испытаний кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов на статическую прочность и долговечность	39
3.6 Результаты неразрушающего контроля внутренних дефектов рентгеновским методом кронштейнов крепления заднего тормоза из	

серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов после стендовых испытаний	43
3.7 Результаты определения механических свойств кронштейнов крепления заднего тормоза после стендовых испытаний.....	45
3.8 Результаты испытаний по оценке уровня нефункциональных шумов автомобиля, укомплектованного кронштейнами крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов.....	46
Заключение	52
Список используемой литературы и используемых источников.....	53

Введение

«Чугун был изобретен в 5 веке до нашей эры в Китае» [1]. Его используют практически во всех уголках мира, будь то автомобильная промышленность, строительная отрасль, обрабатывающая промышленность, трубопроводная промышленность и так далее.

«Чугун – это, сплав железа с углеродом, содержание которого варьируется в диапазоне от 2,14% до 6,67%» [1]. В машиностроении чугун является основанием для большинства деталей. Поскольку чугун является хрупким материалом, его нельзя использовать в деталях, которые подвергаются ударным нагрузкам. Низкая стоимость, хорошие литейные характеристики, высокая прочность на сжатие, износостойкость и отличная обрабатываемость делают чугун ценным материалом для инженерных целей. В зависимости от типа чугуна, определяемому по форме графитовых включений, в автомобильной промышленности изготавливают тормозные диски, кронштейны крепления, блоки цилиндров и так далее. Виды графитовых включений имеют три основные формы, такие как пластинчатая, вермикулярная и шаровидная. Форма графитных включений напрямую зависит от содержания углерода, модификаторов и примесей, а также в зависимости от формы графита чугуны подразделяют на белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны.

В данной работе будет рассмотрено две марки высокопрочного чугуна (ВЧ). Первая марка ВЧ50 используется в литейном производстве для изготовления кронштейнов крепления задних тормозов на модель автомобиля VESTA SW и XRAY Cross. Он имеет включения графита шаровидной формы и применяется для изготовления изделий с высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью, что является приемлемым для изготовления таких деталей, как кронштейн крепления заднего тормоза. Шаровидную форму графитовых включений получают за счет модифицирования расплава чугуна магнийсодержащим модификатором.

Второй маркой высокопрочного чугуна будет являться ВЧ40-1, относящаяся к гибриднему высокопрочному чугуну, который должен будет получиться за счет уменьшения количества вводимого модификатора в расплав чугуна при получении чугуна марки ВЧ50, а также он должен будет пройти специальные испытания, с помощью которых можно будет сделать полноценный вывод о замене марки ВЧ50 на ВЧ40-1.

Актуальность данной работы заключается исследовании гибридного высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом, полученном при уменьшении расхода модификатора для классического высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, а, следовательно, в снижении себестоимости изготовления кронштейнов крепления заднего дискового тормоза для автомобиля VESTA SW и XRAY Cross.

Цель работы: разработка способа получения гибридного высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом и установление его приемлемой работоспособности для кронштейнов крепления заднего дискового тормоза для автомобиля VESTA SW и XRAY Cross.

Задачи:

- изучить применяемость кронштейнов крепления заднего тормоза в составе легкового автомобиля и материалы для их изготовления;
- изучить методы исследований механических свойств, структуры и методы специальных испытаний;
- провести сравнительный статический анализ прочности кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов;
- определить химический состав, микроструктуру и механические свойства отливок. Провести стендовые испытания на статическую прочность и долговечность кронштейнов крепления задних тормозов;
- определить механические свойства и рентгеновским методом провести неразрушающий контроль деталей после стендовых испытаний;

- провести оценку уровня нефункциональных шумов автомобиля, укомплектованного кронштейнами крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов;
- описать безопасность и экологичность проводимых исследований.

1 Состояние вопроса

1.1 Применяемость кронштейнов крепления заднего тормоза в составе легкового автомобиля и материалы для их изготовления

Автомобиль – это сложное техническое устройство, производство которого имеет большое количество этапов. Производство, подбор материалов, испытания являются неотъемлемой частью производства. Одной из самых важных частей автомобиля, помимо двигателя, кузова и др., является тормозная система автомобиля. Тормозная система в автомобилях спасает не только жизни тех, кто находится непосредственно в автомобиле, но и пешеходов. Тип тормозов бывает барабанный и дисковый, в данной работе рассматривается крепление именно дисковых тормозов, и в основном такая конструкция состоит из тормозного диска, суппорта, внутри которого установлены колодки. Эта система должна быть прикреплена к автомобилю, а именно к задней оси автомобиля, если говорить о задних дисковых тормозах, и для этого используется кронштейн крепления заднего тормоза.

Выбор материала для изготовления кронштейнов лежит полностью на производителе. Так, например, в зависимости от производителя кронштейны могут изготавливаться из стали или чугуна. Для изготовления стальных кронштейнов в основном используется сталь 40ХГНМ. «Это конструкционная легированная сталь, которая содержит примерно 0,4% С, 0,6 - 0,9% Cr, 0,5-0,8% Mn, 0,7-1,1% Ni и Mo процентное содержание которого варьируется от 0,15 до 0,25» [2]. Такой вид детали из стали 40ХГНМ изготавливается с помощью одного из способов обработки металлов, такого как ковка. С помощью такого способа получают поковки, приближенные по форме и размерам к детали. Примеры деталей, изготовленной из стали показан на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Деталь кронштейн крепления заднего тормоза из стали [3]



Рисунок 2 – Деталь кронштейн крепления заднего тормоза на автомобиле Renault Daster [3]

Деталь, представленная на рисунке 2, изготавливается из стали, компания не разглашает из какой именно стали, но мы с полной уверенностью можем сказать, что деталь была изготовлена с помощью поковки с последующей механической обработкой, и вероятнее всего из среднеуглеродистой стали, это говорит нам о том, что такое производство данной детали является более дорогостоящим по сравнению с её получением из чугуна литьем.

Кронштейн крепления заднего тормоза, изготовленный из чугуна, производится литьевым способом. Данным способом изготавливаются детали из материала ВЧ50, который предназначен для изделий, которые подвергаются высоким нагрузкам, как и в случае с деталью, рассматриваемой в данной работе. Механические свойства и химический состав материала марки ВЧ50, а также перспектива использования чугуна ВЧ40-1 будут рассмотрены в следующих разделах.

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны изготовления деталей литьем и ковкой.

«Литье – это способ изготовления металлических изделий, процесс которого заключается в расплавлении материала до жидкого состояния, после чего разливки его по формам для последующего застывания» [4]. После того как металл перешел из жидкой фазы в твердую, то есть закристаллизовался, полученную заготовку вынимают из формы.

«Ковка – это процесс изготовления изделия путем ее нагрева, но не до жидкой фазы, а сохраняя металл в твердом состоянии, и последующем ударом пресса, придавая нужную форму заготовке» [5].

В основном для выбора производства литьем или ковкой обращают внимание на то, есть ли у требуемого изделия сложные контура или полости, так как более эффективно такую деталь будет изготовить литьем, так как ковкой такого эффекта можно будет добиться только при дополнительном вырезании отверстий на этапе обработки. Кронштейн крепления заднего тормоза имеет и отверстия, и замысловатую с какой-то стороны форму, поэтому для удешевления процедуры изготовления, что немаловажно на производстве преимущественно использовать литье.

Подводя итог данного раздела, можно утверждать, что изготовление стального кронштейна в данной ситуации будет экономически не целесообразно.

1.2 Высокоч прочный чугун с шаровидным графитом марки ВЧ50 как исходный материал для кронштейнов крепления заднего тормоза: характеристики, область применения

В прошлом разделе мы рассмотрели такой материал как сталь, способы изготовления кронштейнов и экономическую целесообразность этих способов, поэтому в данном разделе мы рассмотрим марку чугуна, из которого путем литья изготавливаются данные детали в серийном производстве. Для изготовления кронштейнов крепления заднего тормоза на производстве используется марка чугуна ВЧ50, рассмотрим его характеристики и области применения.

Данная марка чугуна находит свое применение не только в изготовлении отливки детали, которую мы рассматриваем в работе, но и в множестве других, для которых важно чтобы изделия обладали высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью, таких как поршни, корпуса подшипников, втулки, крышки подшипников, форсунки, компрессоры, выхлопные части поршня, зубчатые колеса, шестерни и так далее. Данный список может продолжаться бесконечно долго, так как данный вид чугуна нашел свое применение во множестве заготовок, которые можно получить литьевым путем. «Отливки, а в последующем, детали, используют при работе в температурном диапазоне до 350 градусов Цельсия, а также подвергаются высоким удельным давлениям, статическим и динамическим нагрузкам и трению» [6]. Высокоч прочный чугун с шаровидным графитом по сравнению, например, со сталью, имеет меньший удельный вес и более высокую жидкотекучесть, что позволяет уменьшить массу автомобиля и его мощность, за счет использования высокоч прочного чугуна с шаровидным графитом для изготовления отливок вместо стальных заготовок. Механические свойства высокоч прочного чугуна ВЧ50, регламентируется ГОСТ 7293-85 и представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Механические свойства высокопрочных чугунов

Марка чугуна	Временное сопротивление при растяжении σ_B , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа
ВЧ50	≥ 500	≥ 320

Таблица 2 – Относительное удлинение и твердость чугуна

Марка чугуна	Относительное удлинение δ , %, не менее	Твердость по Бринеллю, НВ
ВЧ50	≥ 7	153-245

Высокопрочные чугуны, к которым относится марка ВЧ50, имеют шаровидную форму графита, за счет которого он имеет высокую прочность. «Такие чугуны изготавливают с помощью добавления в расплав серого чугуна Mg, который способствует образованию шаровидной формы графита» [7]. Модифицирование расплава чугуна может производиться ковшевым способом, в частности «заливка сверху, схема которого представлена на рисунке 3. В данном случае, в ковш добавляют ~ 13 кг модификатора на 1 тонну расплава чугуна, что является достаточно большим количеством. Шаровидная форма графитовых включений является не таким сильным концентратором напряжений, по сравнению, например, с пластинчатой формой и поэтому более положительно влияет на механические свойства.



Рисунок 3 – Схема ковшевого модифицирования [8]

Помимо графитовых включений на механические свойства в меньшей степени влияет металлическая основа. «Металлическая основа в высокопрочных чугунах бывает нескольких видов: ферритная, ферритно-перлитная, перлитная, аустенитная, но могут выделять такие виды как феррито-перрито-цементитная, троститная, тросто-ферритная, мартенситная, перрито-цементитная и др.» [9]. В случае чугуна ВЧ50 структура имеет перлитно-ферритную металлическую основу, как схематично показано на рисунке 4.

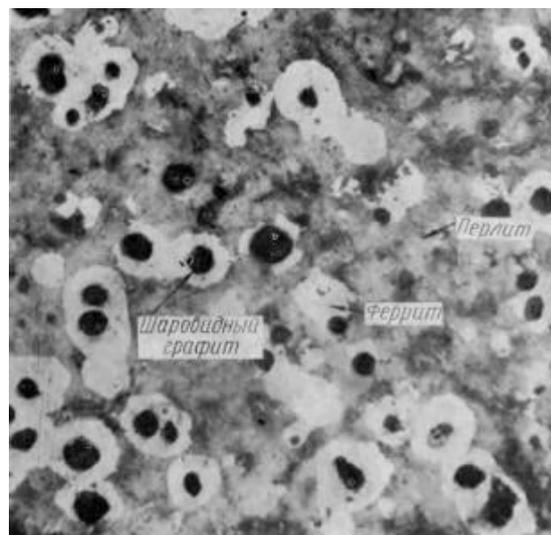


Рисунок 4 – Микроструктура высокопрочного чугуна ВЧ50 [10]

Кронштейн крепления заднего тормоза используется в условиях длительных вибраций. Используемый, для его изготовления чугун ВЧ50, не имеет таких высоких демпфирующих свойств, как, например, чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ), который в большей степени гасит вибрации.

Таким образом, все вышесказанное, говорит о том, что высокопрочный чугун с шаровидным графитом является подходящим для изготовления кронштейна крепления заднего тормоза, но существует проблема большого расхода модификатора для получения шаровидного графита в структуре, что является экономически не выгодно, а также он имеет невысокие демпфирующие свойства, поэтому в следующей разделе мы рассмотрим другой вид чугуна, который предположительно можно будет использовать вместо ВЧ50.

1.3 Высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом марки ВЧ40-1: характеристики, область применения и перспективы использования для кронштейнов крепления заднего тормоза

В предыдущем разделе мы рассмотрели марку чугуна ВЧ50, которая используется в литейном производстве для получения заготовок и в последующем деталей кронштейна крепления заднего тормоза. Проведенный нами анализ марки ВЧ50 говорит о том, что она хорошо подходит для данной детали, но её изготовление является недостаточно экономичным, а сама марка недостаточно вибростойкой и в последующем владелец автомобиля обнаружит из-за этого недостаток комфорта езды, поэтому при решении этой проблемы было принято решение о замене его на другую марку чугуна, которую можно изготовить на действующем оборудовании литейного цеха без затрат на новое оборудование.

Данная марка может характеризоваться как гибридная ВЧ40-1, которую можно получить при добавлении в расплав чугуна меньшего количества того

же модификатора, который используется для изготовления марки ВЧ50. Рассмотрим область его применения, характеристики и перспективу его использования для изготовления кронштейна крепления заднего тормоза.

ВЧ40-1 – это гибридный высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом. «Данный вид чугуна по микроструктуре является гибридным, и имеет комбинированное сочетание свойств, как ЧШГ, так и ЧВГ» [11]. Примерная микроструктура ВЧ40-1, которая должна проявляться при производстве, представлена на рисунках 5 и 6.

«Гибридный высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом нельзя отнести к ЧШГ, так как он имеет содержание вермикулярного графита более 20%, а также он не будет являться ЧВГ, так как содержание вермикулярного графита в нем меньше, чем 60%.

Ранее при изготовлении высокопрочных чугунов в производстве, содержание вермикулярного графита от 20 до 60%, считалось браком, но в современном производстве, чугуны с таким содержанием вермикулярного графита, считаются перспективным материалом, с помощью которого можно заложить свойства сплава для определенных деталей. Относительно новый вид чугуна используется для изготовления отливок на производстве УРАЛаз, а также данный вид чугуна имеет некое распространение в Японии» [12].

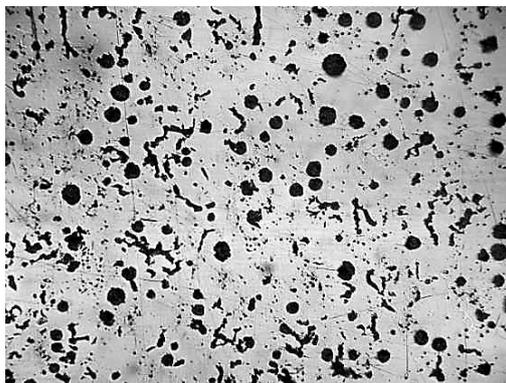


Рисунок 5 – Микроструктура в нетравленном виде чугуна ВЧ40-1 [8]

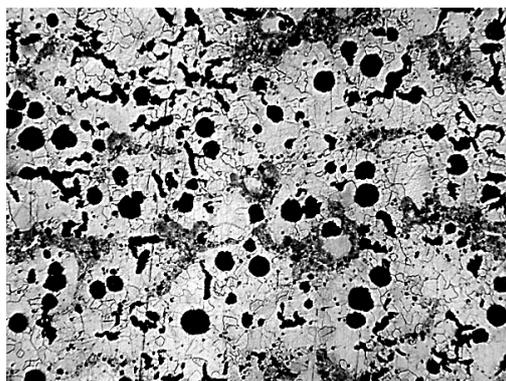


Рисунок 6 – Микроструктура в травленном виде чугуна ВЧ40-1 [8]

Производство такой марки как ВЧ40-1 имеет следующую проблему: так как в технических требованиях по ГОСТ 7293, которые представлены в таблице 3, не обговорено соотношение шаровидного и вермикулярного графита, что является особенностью для данного чугуна.

«Такая проблема не является затруднением для производства, так как решается стабилизацией операции сфероидизирующего модифицирования, которая заключается в определении количества сфероидизирующего модификатора с учетом влияния негативных эффектов» [13].

Таблица 3 – Технические требования к марке чугуна ВЧ40 с шаровидным и вермикулярным графитом

Механические свойства			Микроструктура			
σ_b , МПа	δ , %	НВ	ШГ/ВГ	ПГ	Ф/П	Ц, %
≥ 400	≥ 1	170-220	Не оговаривается	Не допускается	Не оговаривается	≤ 5

По техническим требованиям, перечисленным в таблице 1, чугун ВЧ40-1 может применяться для изготовления кронштейна крепления заднего тормоза, так как деталь является средненагруженной.

Таким образом, проведя литературный анализ по заданной теме, мы выяснили, что для изготовления крепления заднего тормоза нам не подходит

такой вид материала как сталь, так как сложную деталь из стали будет изготавливать экономически не выгодно и такая деталь не будет иметь необходимые для комфортного использования автомобиля, демпфирующие свойства. Уже используемый вид материала как высокопрочный чугун с шаровидным графитом является подходящим по его механическим свойствам, но также является менее выгодным по количеству вводимого модификатора и имеет слабые демпфирующие способности по сравнению с ЧВГ. Следовательно, исходя из собранной нами информации по высокопрочному чугуну с шаровидным и вермикулярным графитом, изготовление кронштейна крепления заднего тормоза из материала ВЧ40-1 будет являться более целесообразным, так как технология получения является наиболее простой, микроструктура определяется только способом введения сфероидизирующего модификатора и правильным расходом.

2 Материалы, образцы и методы испытаний и исследований

В прошлой главе мы рассмотрели варианты материалов, из которых производятся кронштейны крепления заднего тормоза и выявили, что более выгодным с технико-экономической точки зрения является марка ВЧ40-1. Для того чтобы запустить в производство данный вид чугуна должен быть проведен ряд исследований. Оборудование и методики необходимых исследований мы рассмотрим в данной главе.

Для того чтобы запустить в производство нововведение, нужно провести сравнительный прочностной расчет по математической модели детали данного кронштейна. Методика данного анализа заключается в использовании программы OptiStruct, которая позволяет создать 3D модель детали и определить места, в которых эта деталь будет иметь высокие напряжения (опасные сечения), чтобы в дальнейшем установить условия закрепления и устранить эти напряжения за счет расчетов при определенных случаях, таких как торможение назад, торможение вперед и торможение в повороте для VESTA SW; а также торможении назад, торможении вперед, торможении в повороте при смещении точки приложения тормозных сил от осевой плоскости тормозного диска наружу на 10 мм. После этого этапа можно переходить к следующему.

Следующем этапом, при внедрении новшеств, нужно произвести партию пробных изделий, в данном случае будут произведены отливки будущих кронштейнов крепления заднего тормоза из исследуемого ВЧ40-1. «В процессе изготовления отливок проводится спектральный анализ ковшевой пробы, такой анализ проводится на специально залитой отбеленной ковшевой пробе, залитой в кокиль» [14]. Такой вид анализа проводится по ГОСТ 27611 с помощью спектроанализатора OBLF модель QSN 750 II.

После процесса отливки проводится исследование и определение микроструктуры по ГОСТ 3443. Определяют структуру чугунов по графиту и

металлической основе. В данной работе будет задействован микроскоп ЕРІТТР-2 для определения микроструктуры.

Механические свойства отливок такие как твердость проводят по ГОСТ 9012 с помощью твердомера ТШ 2-1, показанный на рисунке 7. Данный метод используется для определения твердости по Бринеллю с твердостью не более 650 единиц. Не менее важно измерение механических свойств как предел прочности при растяжении и относительное удлинение, измерение которых проводятся по ГОСТ 1497-84 с помощью испытательных машин Amsler модель 20SZBDA и P-20, представленные на рисунках 8, 9.



Рисунок 7 – Твердомер ТШ 2-1 [15]



Рисунок 8 – Amsler 20SZBDA [16]



Рисунок 9 – Разрывная машина Р-20 [17]

Далее отливки должны будут пройти механическую обработку, после чего будут направлены на стендовые испытания, такие как: испытания на статическую прочность, долговечность и испытания по оценке шума при движении автомобиля.

Стендовые испытания такие как испытания на статическую прочность и долговечность проводятся на электронном гидравлическом стенде для испытания прочности узлов шасси автомобилей ТРИАЛ-5.

Методика испытания кронштейнов на статическую прочность. На специальной плитке закрепляется кронштейн с тормозным суппортом в сборе с базировкой по центральному выступу, для увеличения прочности вместо тормозных колодок устанавливаются две пластины. Для соединения с тягой, к которой прикладывается усилие при испытаниях, в пластинах просверливается отверстие на величине эффективного радиуса торможения. При нагружении кронштейнов фиксируется максимальная сила, приводящая к разрушению узлов для сравнения с расчетными предельными тормозными силами возможными при торможении полностью загруженного автомобиля.

Испытания проводятся с имитацией торможения, с величиной силы 5112 Н, и движущегося вперед автомобиля.

Методика проведения испытания кронштейна на долговечность. Такая методика имеет схожие расчеты для VESTA SW и XRAY Cross, поэтому приведем пример расчетов только для XRAY Cross, так как расчет для данной модели является более массивным и развернутым. При данном виде испытаний кронштейн находился в сборе с тормозом, подшипником и осью на рычаге задней подвески. «Монтаж узлов на стенде проводится таким образом, чтобы нагрузка была приложена к рычагу оснастки с плечом и со смещением определенной величины, что обеспечит необходимый вылет колеса» [18]. «Для передачи тормозных сил вместо гидравлического прижатия колодок использовали механическую фиксацию, которая была выполнена с помощью просверливания и стягивания тормозного диска и двух пластин, имитирующих колодки» [19]. Далее проводится определение тормозных сил и режимов нагружения. Данный вид испытаний проводится по трем ступеням:

- с имитацией торможения полностью загруженного автомобиля, движущегося вперед с замедлением (LC01);
- с воспроизведением сил, действующих на кронштейн при удержании автомобиля на уклоне 20% в обе стороны (LC02);
- с воспроизведением сил, действующих на кронштейн при удержании автомобиля на уклоне 30% в обе стороны (LC03).

Согласно расчетному случаю LC02, изложенным для полной массы автомобиля 1625 кг при торможении вперед при силе на педали тормоза 50 кг (обеспечение максимального момента на заднем тормозе) величина тормозной силы в центре тормозных колодок составляет 5122,4 Н.

При эффективном радиусе тормозного механизма 0.107м получаем следующие тормозные моменты и силы в пятне контакта колеса с дорогой рассчитываются следующими выражениями (1) и (2):

$$M=5122,4*0.107= 548 \text{ Нм} \quad (1)$$

$$F= 548/0.308=1779 \text{ Н} \quad (2)$$

Таким образом, при испытаниях по первой ступени назначается тормозная сила в пятне контакта колеса с дорогой величиной 1779 Н на радиусе 0.308 м.

При удержании на уклонах на автомобиль действуют следующие силы, показанные на рисунке 10.

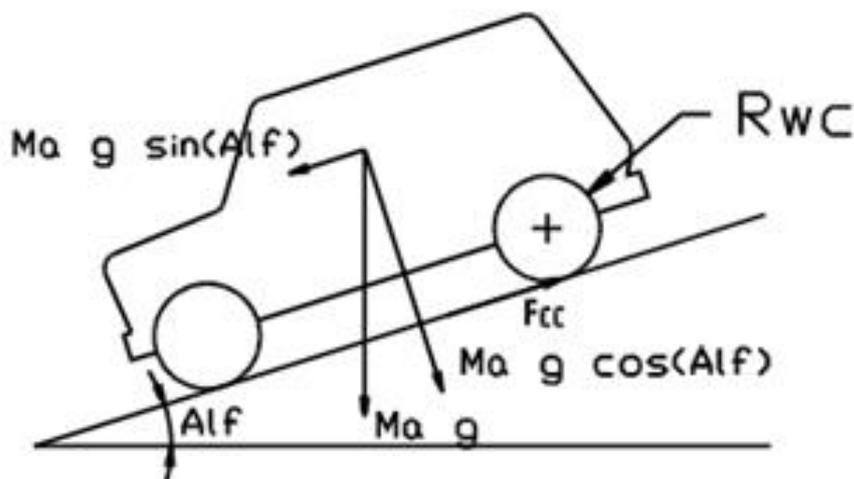


Рисунок 10 – Схема действия сил на автомобиль при удержании его на уклонах

Сила в пятне контакта колеса с дорогой, необходимая для удержания авт. на уклоне (для 1-ого тормоза):

$$F_{BF} = 1/2 \times m \times g \times \sin(\arctg(S)),$$

где

S – уклон в %/100.

Отсюда, для уклона 20% и полной массы 1625 кг:

$$F_{BF20\%} = 1/2 \times 1625 \times g \times \sin(\arctg(0,2)) = 1563 \text{ Н},$$

Для уклона 30% и полной массы 1625 кг:

$$F_{BF30\%} = 1/2 \times 1625 \times g \times \sin(\arctg(0,3)) = 2291 \text{ Н}.$$

Распределение нагрузок по ступеням приведено в таблице 4.

Нагружение производится, чередуя ступени по следующей формуле:

Общая продолжительность испытаний (блоков):

$$100\% = 1000 \times (100 A1 + 40 A2 + 10 A3),$$

где

- A1 (сила в пятне контакта колеса с дорогой по первой ступени F):

$$+100\text{Н} + 1779\text{Н}, f = 3 \text{ Гц},$$

- A2 (сила в пятне контакта колеса с дорогой по второй ступени FBF20%):

$$- 1563 \text{ Н} + 1563 \text{ Н}, f = 1 \text{ Гц},$$

- A3 (сила в пятне контакта колеса с дорогой по третьей ступени FBF30%):

$$- 2291 \text{ Н} + 2291 \text{ Н}, f = 1 \text{ Гц}.$$

Таблица 4 – Распределение нагрузок по ступеням

Ступень	Вид нагрузки	Сила в пятне контакта	Общее число циклов
1	торможение а/м движущегося вперед с замедлением 1g	A1 = от +100 до +1779	100 000
2а	удержание а/м вперед ручным тормозом на 20%-ом склоне	A2 = от 0 до +1563	40 000
2б	удержание а/м назад ручным тормозом на 20%-ом склоне	A2 = от -1563 до 0	40 000
3а	удержание а/м вперед ручным тормозом на 30%-ом склоне	A3 = от 0 до +2291	10 000
3б	удержание а/м назад ручным тормозом на 30%-ом склоне	A3 = от -2291 до 0	10 000

После отработки на долговечность в объёме не менее 100% не должно быть разрушения кронштейнов или появления трещин, выявляемых с помощью неразрушающего метода.

К специальным испытаниям относятся испытания по оценке шума от заднего тормоза в движении и при торможении. Методика данного испытания заключается в оценке уровня шума в ходе проведения испытания. Критерии оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Соотношение уровня шума и проставленных оценок в ходе испытания

Оценка в баллах	Уровень шума
7,0	Шумов не зафиксировано
6,5	Низкий уровень шума
6,0	Приемлемый уровень шума
5,5	Неприемлемый уровень шума

После проведения стендовых испытаний проводится рентгеновский контроль деталей. Рентгеновский неразрушающий контроль – это один из видов неразрушающего контроля, который основан на способности рентгеновских лучей проникать в исследуемый материал и на свойстве материала поглощать такой вид излучения. Он позволяет обнаружить внутренние несплошности в контролируемых объектах. В данной работе использовалось такое оборудование как: рентгеновский аппарат ЭКСТРАВОЛЬТ 225, представленный на рисунке 11, с рентгеновской трубкой ТНХ225, фокусным пятном 1,5 мм по IEC3366, а также с максимальным напряжением и током 225кВ и 12мА соответственно; машина для проявления пленки INDX 900E; Негатоскоп НС 85x400 СД, яркость освещения 60000 кд/м², контроль снимков с плотностью до 3,7; денситометр цифровой ДП 5004, диапазон оптической плотности от 0 – 4,0 Б, абсолютная погрешность – 0,04 Б, рентгеновская пленка – INDUSTREX MX125 размер 30x40см и 15x40см; усиливающий оловянно-свинцовый экран – 0,05 мм. сверху и 0,09 мм. снизу, проявитель INDUSTREX Part Developer для машинной обработки, фиксаж INDUSTREX LO для машинной обработки, эталоны чувствительности, фокусное расстояние – трубка/ рентгеновская пленка - 700мм. «Режимы контроля представляют собой 5 снимков, при различных напряжениях от 140кВ до 220кВ» [20].



Рисунок 11 – Рентгеновский аппарат ЭКСТРАВОЛЬТ 225 [21]

После проведения всех вышеперечисленных испытаний проводятся механические испытания детали после стендовых испытаний для определения предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения после разрыва. Такие виды испытаний нормируются ГОСТ 1497-84 с использованием универсальной машины Zwick/Roell Z150. Образцы для проведения испытаний были получены после испытаний деталей на статическую прочность.

Таким образом, после прохождения всех вышеперечисленных испытаний, мы сможем проанализировать полученные результаты и определить подходит ли такой материал как ВЧ40-1 на замену ВЧ50 для изготовления кронштейнов крепления заднего тормоза.

3 Результаты испытаний и исследований. Обоснование достаточности стендовых испытаний без дорожных

В прошлой главе мы рассмотрели виды испытаний и приборы, которые понадобятся для проведения испытаний, результаты которых мы рассмотрим в данной главе. В данном нам случае проводятся только стендовые испытания, без дорожных. На это есть определенные причины:

— для качественной и количественной оценки кронштейнов из действующего чугуна ВЧ 50 и предлагаемого чугуна ВЧ40, сравнительные испытания должны быть проведены на равном количестве деталей из каждого материала, что требует для дорожных испытаний 2-3 автомобиля с каждым видом детали, то есть 4-6 авто;

— дорожные испытания требуют больших затрат: бензин, изнашиваемые детали, зарплата водителей и так далее. Длительность испытаний – не менее года;

— оценка результатов испытаний только качественная: разрушились детали или не разрушились. Если в процессе испытаний разрушений не будет, то оценить фактическую долговечность деталей не представится возможным.

Исходя из сказанного, наиболее достоверными, в данном случае являются стендовые испытания со следующими преимуществами:

— режимы нагружения позволяют провести испытания каждой детали за 3-4 дня;

— стендовые испытания проводятся до разрушения, что позволяет напрямую сравнить усталостную долговечность серийных и опытных деталей;

— стендовые испытания проводятся при максимальной нагруженности деталей, что позволяет сократить сроки испытаний;

— затраты на проведение стендовых испытаний несравненно ниже.

3.1 Результаты сравнительного прочностного расчета по математической модели деталей кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов

Проведён сравнительный прочностной расчет по математической модели детали кронштейна крепления заднего дискового тормоза на VESTA SW и XRAY Cross для двух материалов ВЧ50 и ВЧ40-1. Данный анализ проводился по методике описанной во второй главе, с использованием специализированной программы, в которой удалось построить общий вид расчетной модели, представленной на рисунке 12 для VESTA SW и XRAY Cross, а так же 3D модель кронштейна крепления заднего тормоза, показанного на рисунке 13 и 14 для VESTA SW и XRAY Cross соответственно, включенного в сборку с рисунка 12.

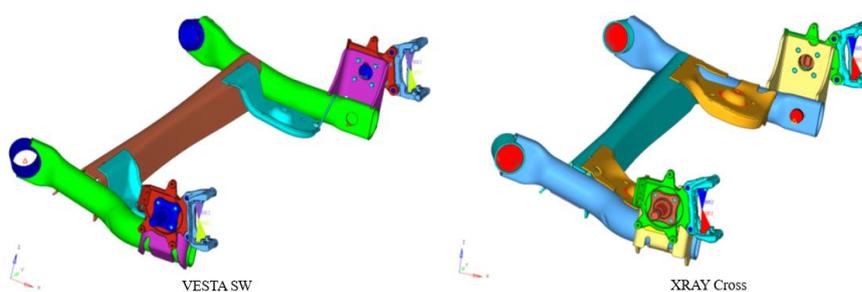


Рисунок 12 – Общий вид расчетной модели для VESTA SW и XRAY Cross

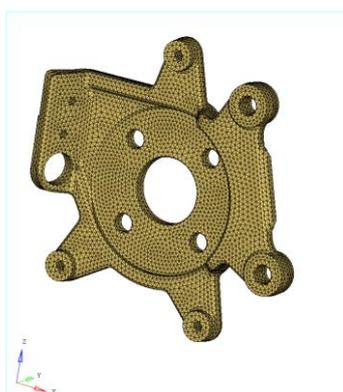


Рисунок 13 – 3D модель кронштейна крепления заднего тормоза для VESTA

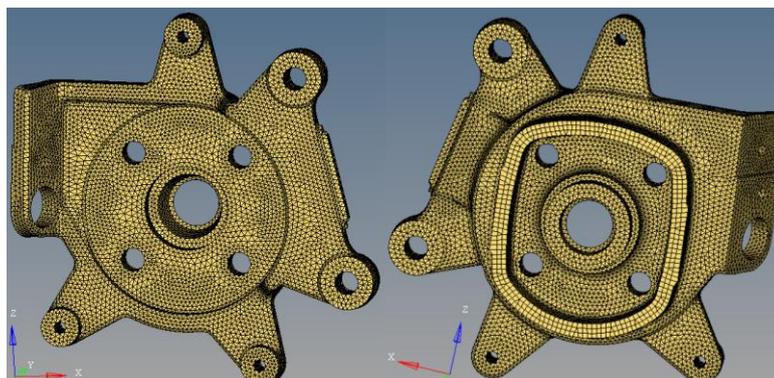


Рисунок 14 – 3D модель кронштейна крепления заднего тормоза для XRAY Cross

В результате построения данных моделей, программной был проведен расчет напряжений, который представлен в таблице 6 в трех маневрах для VESTA SW и таблице 7 в шести маневрах для XRAY Cross распределение напряжений представлено на рисунках 15-17 для VESTA SW и на рисунках 18-23 для XRAY Cross.

Таблица 6 – Результаты расчета напряжений для VESTA SW

Маневр	ВЧ50	ВЧ40-1
Торможение назад	310 МПа	310 МПа
Торможение вперед	220 МПа	220 МПа
Торможение в повороте	331 МПа	331 МПа

Таблица 7 – Результаты расчета напряжений для XRAY Cross

Маневр	ВЧ50	ВЧ40-1
Торможение назад	370 МПа	370 МПа
Торможение вперед	161 МПа	161 МПа
Торможение в повороте	263 МПа	263 МПа
Торможение назад со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм	313 МПа	313 МПа
Торможение вперед со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм	174 МПа	174 МПа
Торможение в повороте со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм	284 МПа	284 МПа

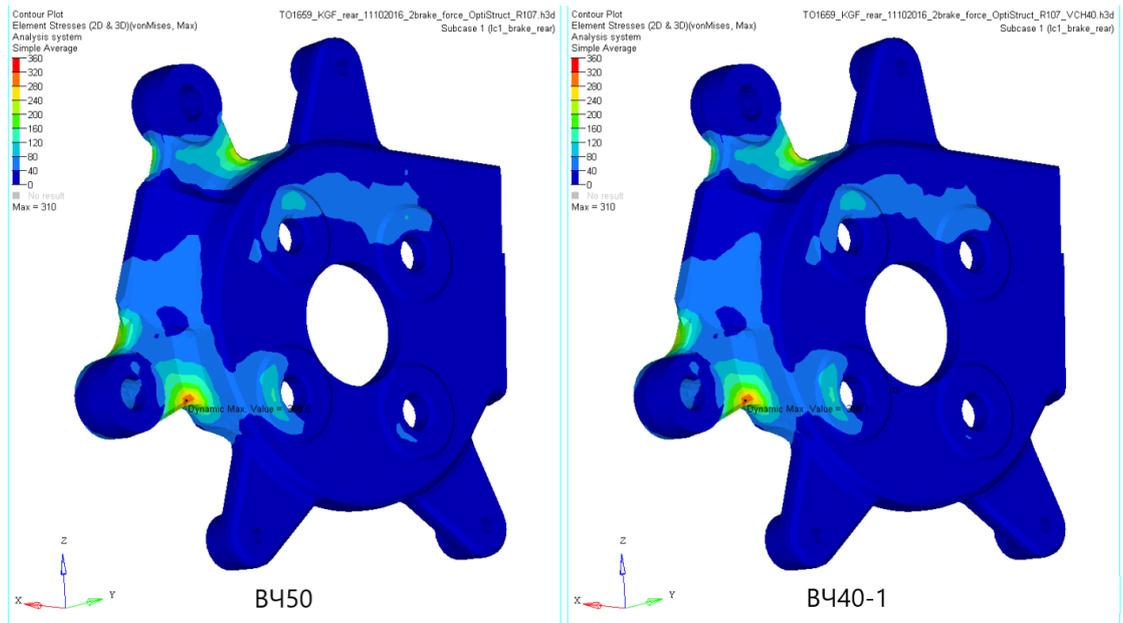


Рисунок 15 – Распределение напряжений при торможении назад для VESTA SW

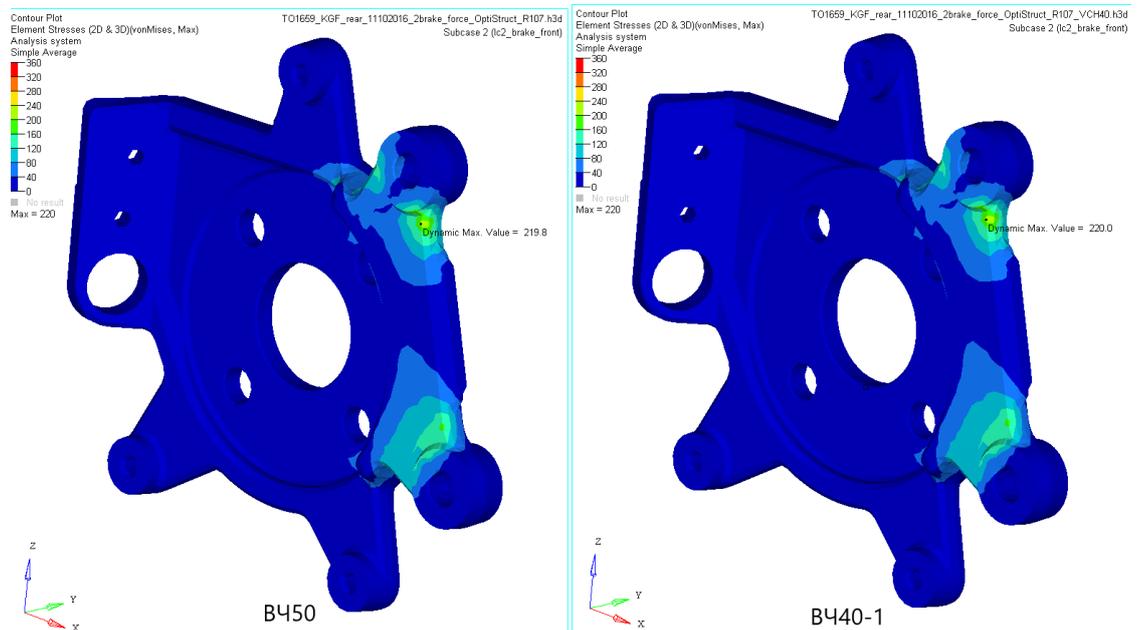


Рисунок 16 – Распределение напряжений при торможении вперед для VESTA SW

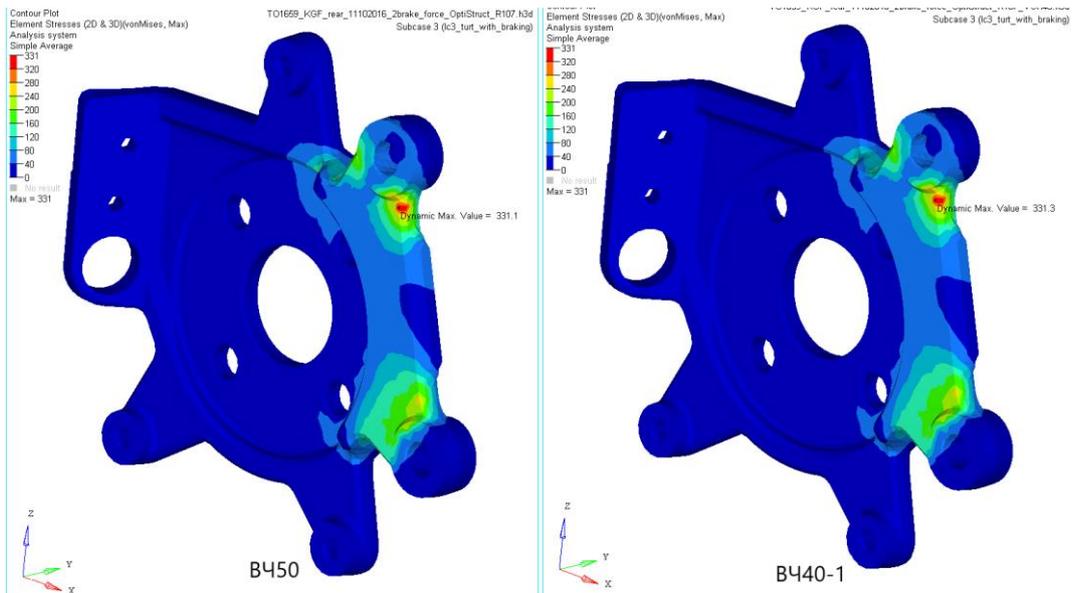


Рисунок 17 – Распределение напряжений при торможении в повороте для VESTA SW

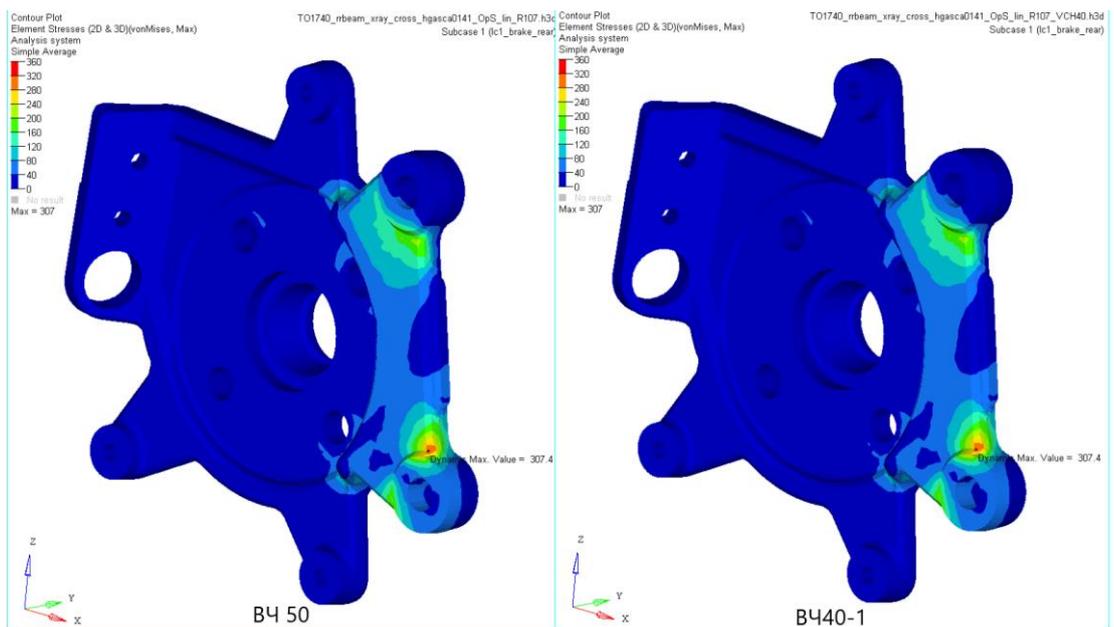


Рисунок 18 – Распределение напряжений при торможении назад для XRAY Cross

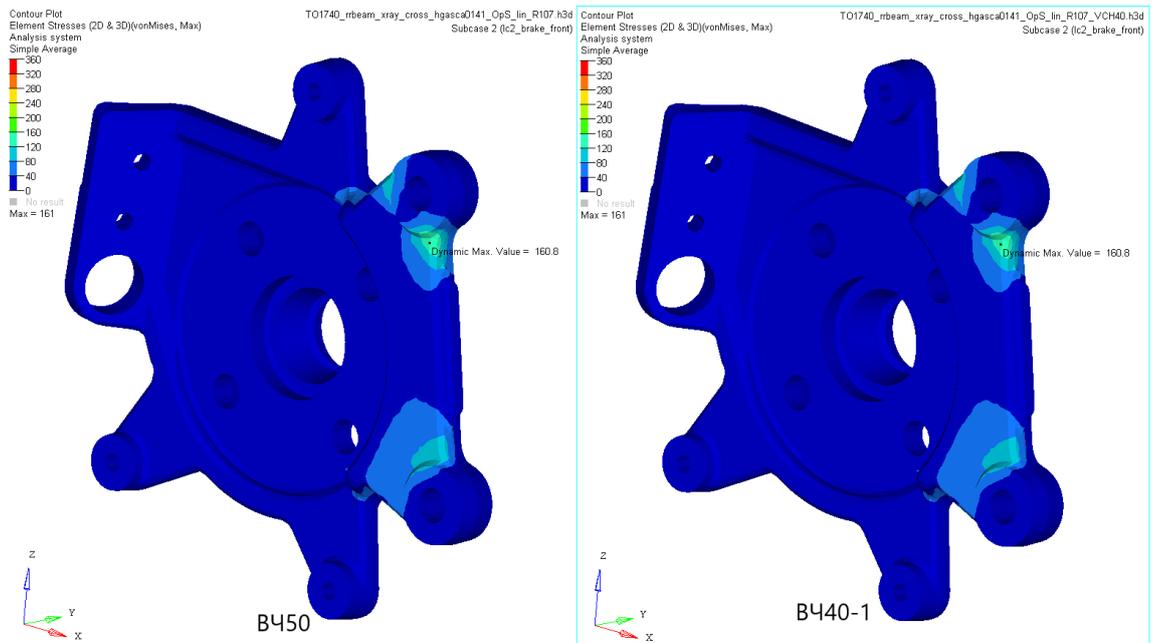


Рисунок 19 – Распределение напряжений при торможении вперед для XRAY Cross

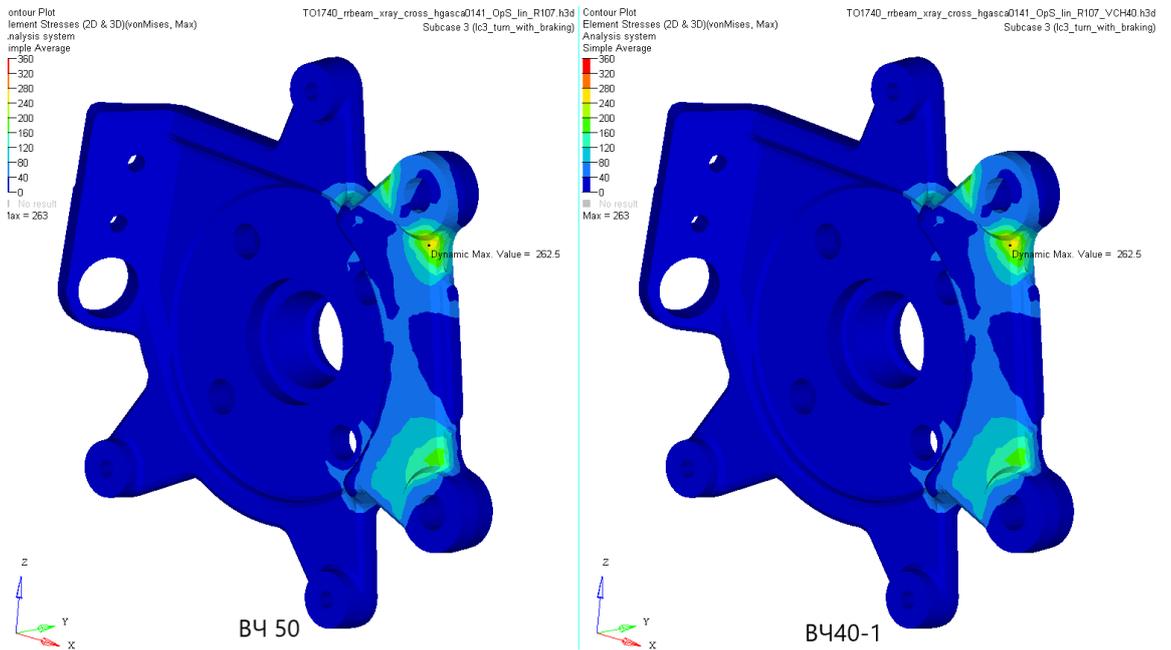


Рисунок 20 – Распределение напряжений при торможении в повороте для XRAY Cross

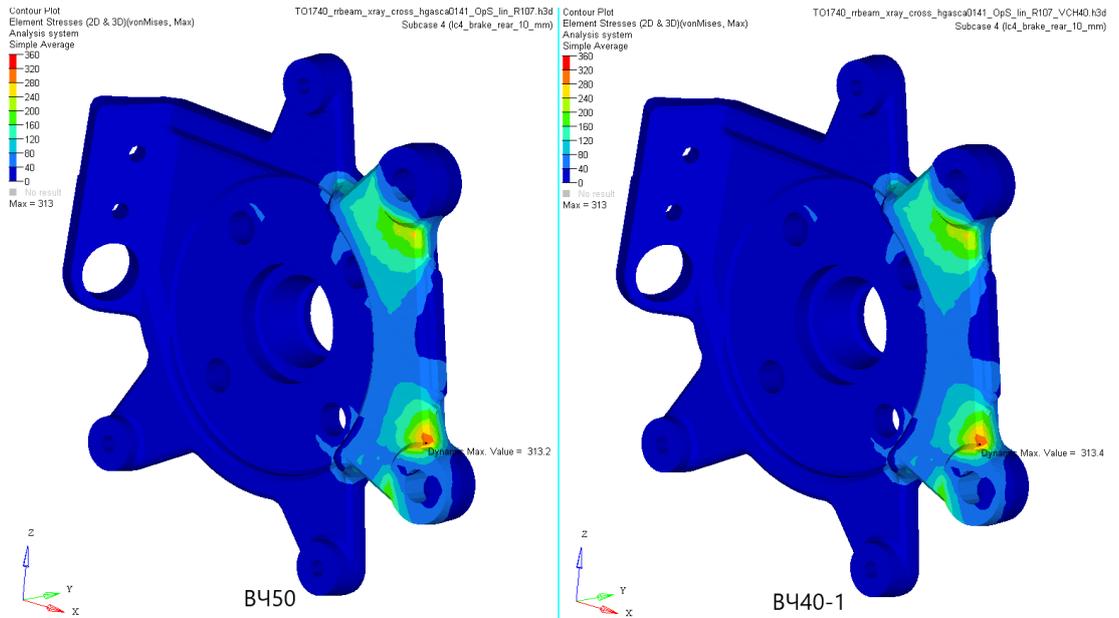


Рисунок 21 – Распределение напряжений при торможении назад со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм для XRAY Cross

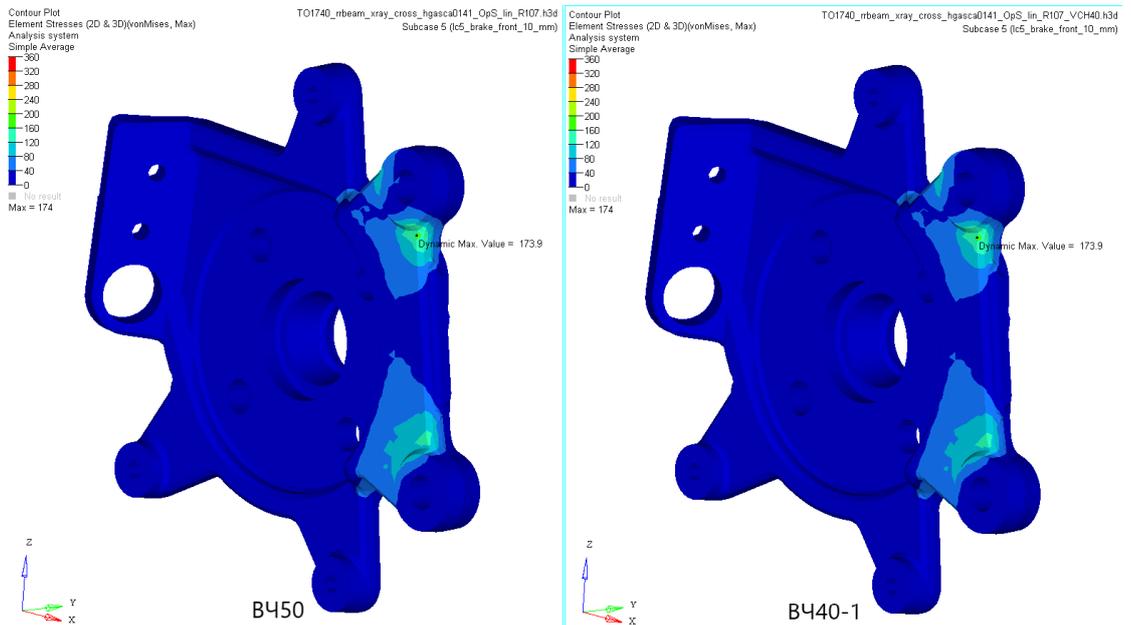


Рисунок 22 – Распределение напряжений при торможении вперед со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм для XRAY Cross

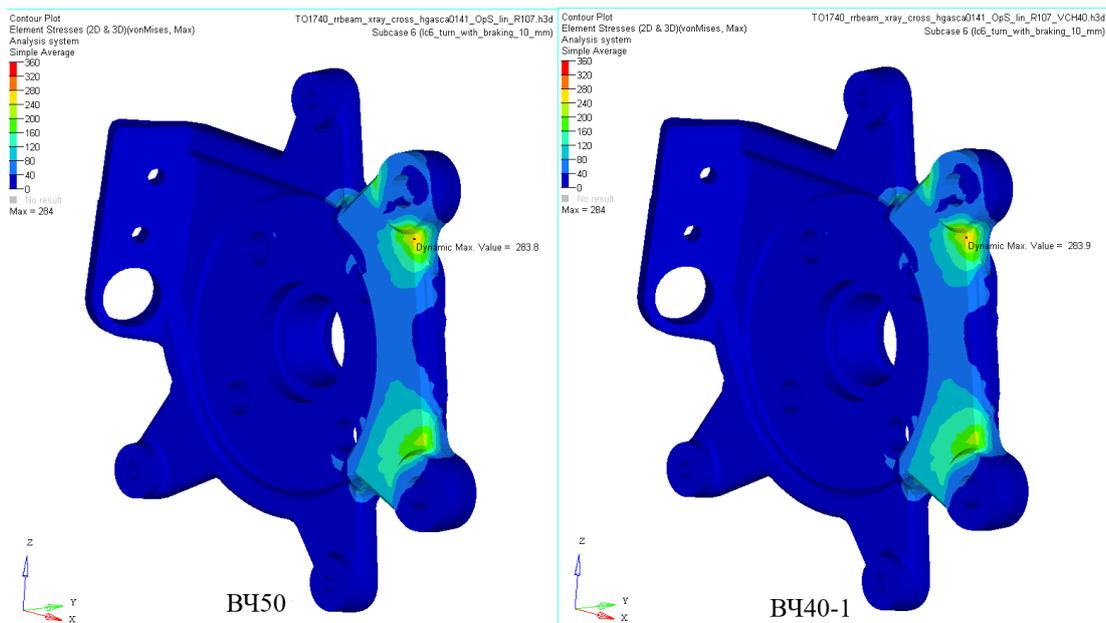


Рисунок 23 – Распределение напряжений при торможении в повороте со смещением точки приложения тормозных сил на 10 мм для XRAY Cross

В результате проведения прочностного расчета мы получили идентичные значения в опасных сечениях детали для испытуемого и серийного материалов, следовательно, деталь из ВЧ40-1 должна выдержать нагрузки в эксплуатации.

3.2 Получение отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна марки ВЧ40-1. Определение химического состава

В результате проведенного сравнительного статистического анализа материалов ВЧ50 и ВЧ40-1 было определено, что для окончательного вывода о замене ВЧ50 на ВЧ40-1 нужно провести дополнительные испытания на прочность и долговечность. Для этого, была изготовлена опытная партия отливок для кронштейнов крепления правый/левый заднего дискового тормоза на VESTA SW и XRAY Cross из высокопрочного чугуна марки ВЧ40 в объеме одного ковша по технологии ковшевого модифицирования «залитка сверху» (рис. 3) с соблюдением технологических параметров при ковшевом

расходе сфероидизирующего модификатора 8 кг. В процессе получения отливок был проведен спектральный анализ ковшевой пробы, результаты которого приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Спектральный анализ ковшевой пробы

Массовая доля, %									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mg
3,55	2,10	0,35	0,020	0,006	0,065	0,025	0,20	0,022	0,016

После данного исследования отливки были отправлены в лабораторию металлографического анализа, где были проведены исследования, по оценке микроструктуры.

3.3 Результаты оценки микроструктуры отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна марки ВЧ40-1

После получения опытных отливок из ВЧ40-1 было проведено металлографическое исследование. В данном разделе мы рассмотрим часть металлографического исследования, такое как оценка микроструктуры отливок кронштейнов крепления заднего тормоза правый для VESTA SW и правый/левый для XRAY Cross из исследуемой марки чугуна.

Оценка микроструктуры проводилось по методике, описанной во второй главе, в результате чего мы получили следующие результаты, представленные в таблице 9, технические требования к микроструктуре были представлены в таблице 3, а также были сделаны фотографии микроструктуры на трех образцах, представленные на рисунках 24-29.

Таблица 9 – Результаты оценки микроструктуры отливок

Образец	Металлическая основа, %			Степень сфероидизации графита, %
	перлит	феррит	цементит	
VSп/ВЧ40-1(1)	30	70	0	ВГф2; ВГ ф3 - 30 ШГф4; ШГф5 - 70
XRп/ВЧ40-1(1)	35	65	0	ВГф2; ВГФ3 - 45 ШГф4; ШГф5 - 55
XRл/ВЧ40-1(1)	35	65	0	ВГф2; ВГФ3 - 45 ШГф4; ШГф5 - 55

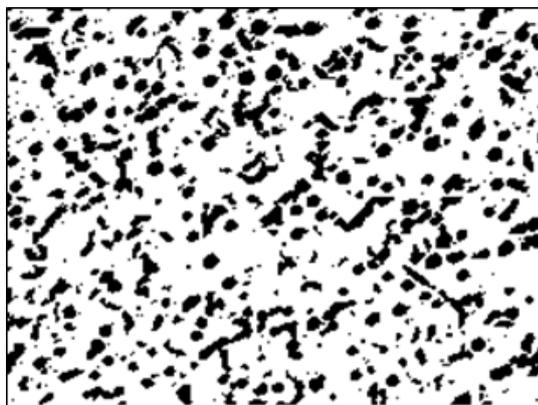


Рисунок 24 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для VESTA в нетравленном виде

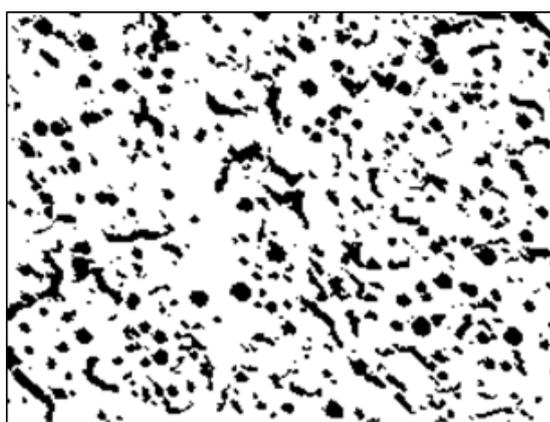


Рисунок 25 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для кронштейна крепления заднего правого тормоза XRAY Cross в нетравленном виде

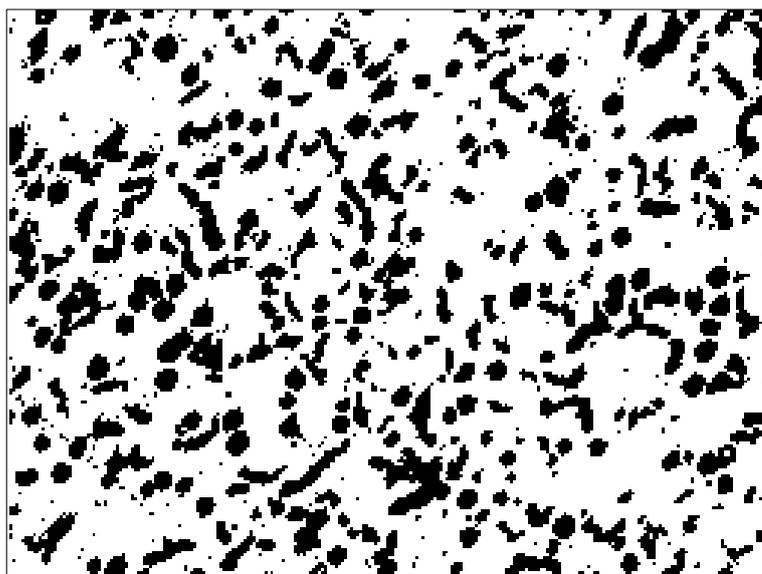


Рисунок 26 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для кронштейна крепления заднего левого тормоза XRAY Cross в нетравленном виде

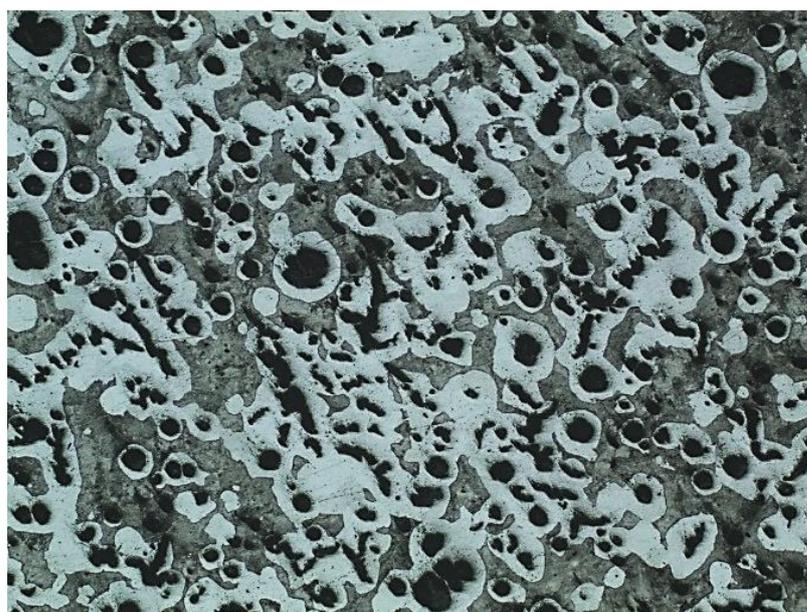


Рисунок 27 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для VESTA в травленном виде

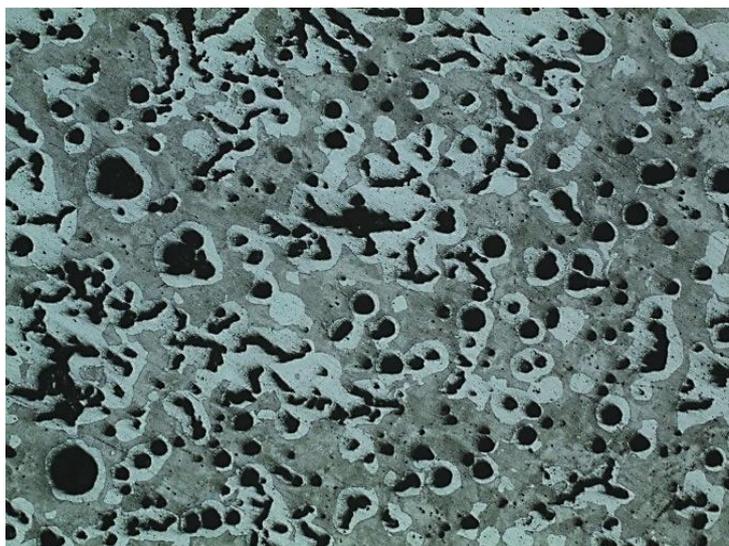


Рисунок 28 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для кронштейна крепления заднего правого тормоза XRAY Cross в травленном виде

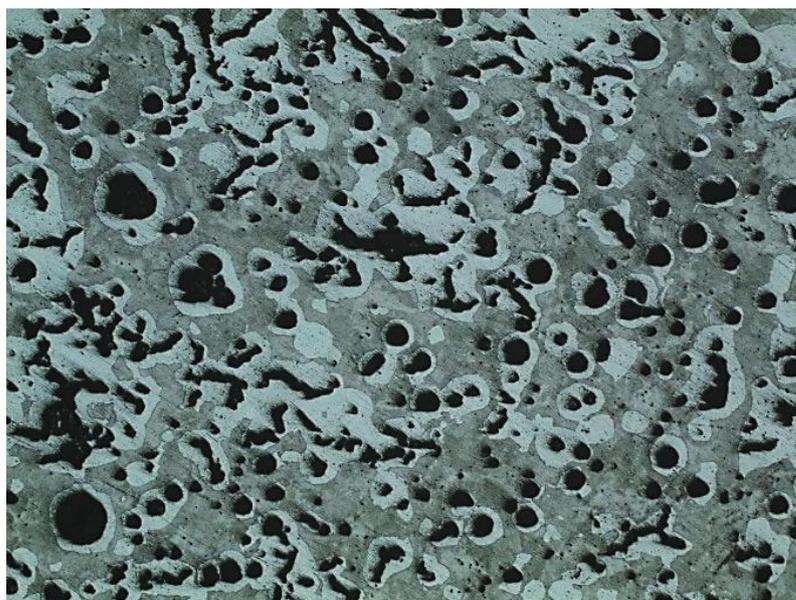


Рисунок 29 – Микроструктура отливки из ВЧ40-1 для кронштейна крепления заднего левого тормоза XRAY Cross в травленном виде

В результате данного исследования мы получили соотношение количества феррита и перлита, а также соотношение шаровидного графита к вермикулярному.

3.4 Результаты определения механических свойств отливок кронштейнов крепления заднего тормоза из чугуна ВЧ40-1

В данном разделе приведены результаты механических свойств отливок кронштейнов крепления заднего тормоза правого для VESTA SW и правого/левого для XRAY Cross из опытного ВЧ40-1.

Проведены такие механические испытания как определение твердости по Бринеллю, измерение предела прочности при растяжении и относительного удлинения. Методики проведения данных механических испытаний были описаны во второй главе.

Следуя методике, мы получили следующие результаты, представленные в таблице 10, технические требования к механическим свойствам были представлены в таблице 1.

Таблица 10 – Результаты определения механических свойств отливок

Образец	HB5/750/10	σ_B , МПа	δ , %
VS _П /ВЧ40-1(1)	179	519	5
XR _П /ВЧ40-1(1)	177	446	4
XR _Л /ВЧ40-1(1)	175	481	5

После проведения механических свойств детали из исследуемого материала детали были направлены на механическую обработку.

3.5 Результаты стендовых испытаний кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов на статическую прочность и долговечность

После механической обработки готовые детали кронштейнов крепления заднего тормоза правого/левого из опытного материала ВЧ40-1 для XRAY Cross и VESTA SW, в количестве трех экземпляров для каждой модели и семи

экземпляров из серийного производства из марки ВЧ50, были направлены на стендовые испытания. Стендовые испытания на статическую прочность и долговечность проводились согласно методике, описанной в главе 2. После проведения стендовых испытаний на статическую прочность и долговечность мы получили следующие результаты, представленные в таблицах 11 и 12 для кронштейнов крепления заднего тормоза на модель VESTA SW, а также на рисунках 30-33 представлен процесс проведения испытаний на долговечность. В процессе проведения испытаний на долговечность детали для модели VESTA SW после достижения заданного количества циклов испытания были продолжены для того, чтобы определить на каком цикле произойдет разрушение. Результаты, проведенных испытаний, для кронштейнов крепления заднего тормоза на модель XRAY Cross приведены в таблицах 13-14.

Таблица 11 – Результаты проведения испытаний на статическую прочность кронштейнов крепления заднего тормоза на модель VESTA SW

Условный номер кронштейна	VSп/ВЧ40-1(2)	VSп/ВЧ40-1(3)	VSп/ВЧ40-1(4)	Кронштейн из ВЧ50
Максимальное зафиксированное усилие, Н	39828	39828	53955	60332
Характер разрушения	Отрыв одной проушины	Отрыв одной проушины	Отрыв одной проушины	Трещина на проушине

Таблица 12 – Результаты проведения испытаний на долговечность кронштейнов крепления заднего тормоза на модель VESTA SW

Условный номер кронштейна	VSп/ВЧ40-1(5)	VSп/ВЧ40-1(6)	VSп/ВЧ40-1(7)	
Норма	100%			
Кол-во отработанных блоков	1002	1000	1001	3860
% отработки	100	100	100	386
Наличие трещин после испытаний	Нет	Нет	Нет	Да
Статус	ОК	ОК	ОК	ОК



Рисунок 30 – Процесс проведения испытаний на долговечность для кронштейнов крепления заднего тормоза

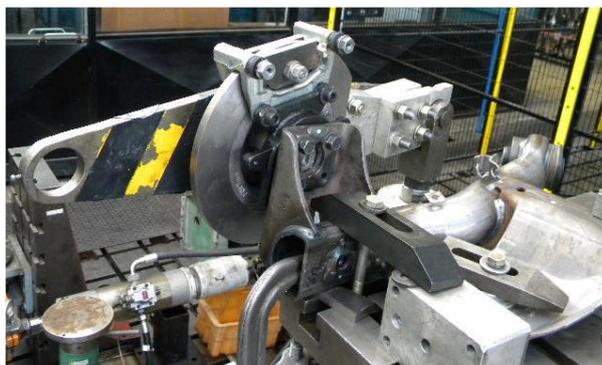
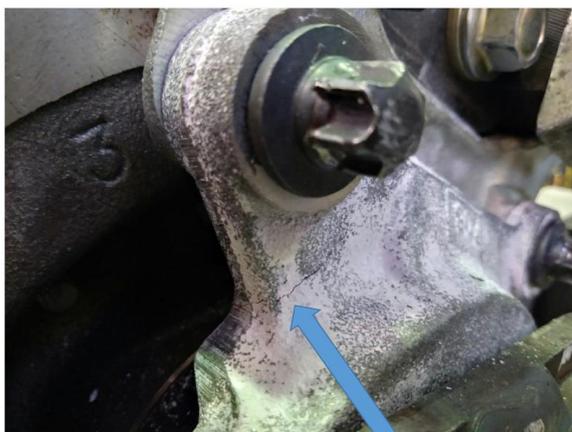


Рисунок 31 – Процесс проведения испытаний на долговечность для кронштейнов крепления заднего тормоза



Рисунок 32 – Процесс проведения испытаний на долговечность для кронштейнов крепления заднего тормоза



Трещина на кронштейне после испытания 3860 циклов (при норме 1000 циклов)

Рисунок 33 – Результат проведения испытаний на долговечность

Таблица 13 – Результаты проведения испытаний на статическую прочность кронштейнов крепления заднего тормоза на модель XRAY Cross

Условный номер кронштейна	XRп/ВЧ40-1(2)	XRп/ВЧ40-1(3)	XRп/ВЧ40-1(4)	Три кронштейна ВЧ 50
Максимальное усилие, Н	47088	50031	48069	44734 48559
Характер разрушения	Обрыв болтов крепления	Обрыв болтов крепления	Обрыв болтов крепления	Обрывы болтов крепления

Таблица 14 – Результаты проведения испытаний на долговечность кронштейнов крепления заднего тормоза на модель XRAY Cross

Условный номер кронштейна	XRл/ВЧ40-1(2)	XRл/ВЧ40-1(3)	XRл/ВЧ40-1(4)	Три кронштейна из ВЧ50
Норма	100%			
Кол-во отработанных блоков	1000	1000	1000	по 1000
% отработки	100	100	100	по 100
Наличие трещин после испытаний	Нет	Нет	Нет	Нет
Статус	ОК	ОК	ОК	ОК

По результатам проведенных стендовых испытаний на статическую прочность и долговечность максимально зафиксированные усилия меньше, чем у ВЧ50, однако выше требуемого критерия – минимального количества отработанных циклов (1000), причём фактическое время наработки на одной детали, специально доведённой до разрушения, составило 3860 циклов, что на 386% больше нормы.

3.6 Результаты неразрушающего контроля внутренних дефектов рентгеновским методом кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов после стендовых испытаний

После проведения испытаний на статическую прочность и долговечность было проведено исследование деталей на наличие внутренних дефектов с помощью рентгеновского метода неразрушающего контроля. Данным методом, который был описан в главе 2, был проведен анализ внутренних дефектов на 12 деталях, прошедших испытания на статическую прочность и долговечность. Результаты неразрушающего контроля внутренних дефектов рентгеновским методом кронштейнов крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) в количестве 6 штук и опытного (ВЧ40-1) материалов для XRAY Cross, представлены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Результаты неразрушающего контроля внутренних дефектов деталей после стендовых испытаний из ВЧ40-1

№ детали	№ снимка	Дефект	Категория дефекта	Соответствие требованиям
XRп/ВЧ40-1(2)	1	Усадочные раковины	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-5	Не обнаружено	–	–
XRп/ВЧ40-1(3)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–

Продолжение таблицы 15

№ детали	№ снимка	Дефект	Категория дефекта	Соответствие требованиям
XRп/ВЧ40-1(3)	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRп/ВЧ40-1(4)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRл/ВЧ40-1(2)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 2 уровня опасности	Соответствует
	2-5	Не обнаружено	–	–
XRл/ВЧ40-1(3)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 2 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRл/ВЧ40-1(4)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует

Таблица 16 – Результаты неразрушающего контроля внутренних дефектов деталей после стендовых испытаний из ВЧ50

№ детали	№ снимка	Дефект	Категория дефекта	Соответствие требованиям
XRп/ВЧ50(1)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 2 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRп/ВЧ50(2)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-5	Не обнаружено	–	–
XRп/ВЧ50(3)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 2 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
XRп/ВЧ50(3)	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRп/ВЧ50(4)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует

Продолжение таблицы 16

№ детали	№ снимка	Дефект	Категория дефекта	Соответствие требованиям
XRп/ВЧ50(5)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 2 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
XRп/ВЧ50(6)	1	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует
	2-4	Не обнаружено	–	–
	5	Усадочная раковина	Зубчатая усадка 1 уровня опасности	Соответствует

В результате неразрушающего контроля были обнаружены усадочные раковины 1, 2 уровня опасности (до 3 уровня допустимы), учтенные конструктором

3.7 Результаты определения механических свойств кронштейнов крепления заднего тормоза после стендовых испытаний

Рассмотрев результаты неразрушающего контроля, были проведены механические испытания на определение таких механических свойств как предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение после разрыва испытуемых деталей, проведенные по методике описанной во второй главе. Результаты определения механических свойств кронштейнов крепления заднего тормоза после стендовых испытаний представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Механические свойства деталей после проведения стендовых испытаний

№ детали	№ образца	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %
VSп/ВЧ40-1(2)	2.1	287	397	4,2
	2.2	311	428	3,7
	Среднее	299	413	4,0
VSп/ВЧ40-1(3)	3.1	289	391	3,7
	3.2	313	432	3,8
	Среднее	301	412	3,8
VSп/ВЧ40-1(4)	4.1	307	443	4,6

Продолжение таблицы 17

№ детали	№ образца	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %
VSp/ВЧ40-1(4)	4.2	294	397	4,4
	Среднее	301	420	4,5

После определения механических свойств деталей после механической обработки и стендовых испытаний детали были направлены на испытания, по оценке уровня нефункциональных шумов.

3.8 Результаты испытаний по оценке уровня нефункциональных шумов автомобиля, укомплектованного кронштейнами крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов

К специальным испытаниям относятся испытания по оценке нефункциональных шумов автомобиля, который укомплектован кронштейнами крепления заднего тормоза из серийного (ВЧ50) и опытного (ВЧ40-1) материалов. Данный вид испытаний проводился по методике, описанной во второй главе, а результаты будут проведены в виде гистограмм. На рисунке 34, представлена зависимость количества торможений от субъективной статистической оценке шума. По полученной гистограмме проводилась оценка, по которой деталь кронштейн крепления заднего тормоза из ВЧ40-1 получил 7 балл. Структура оценки представлена в приложении А.

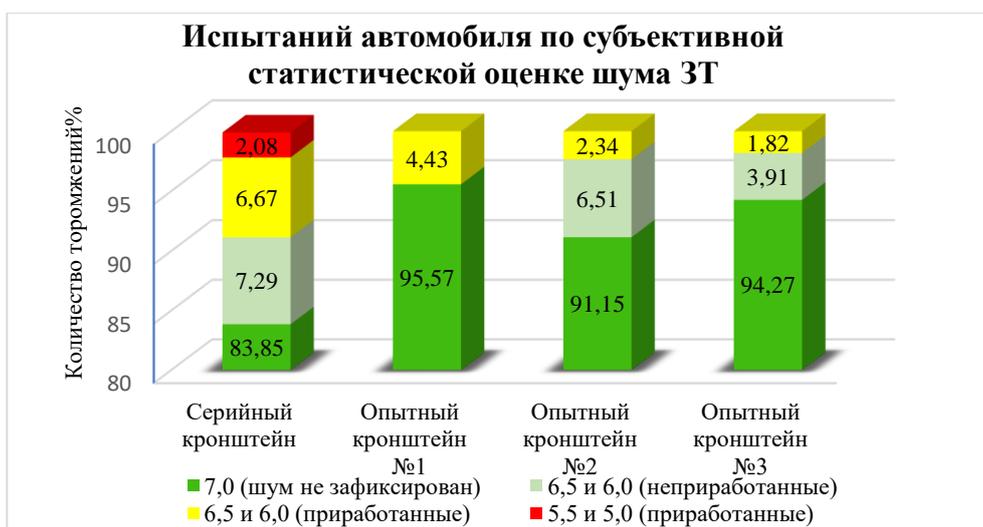


Рисунок 34 – Результаты испытаний автомобиля по субъективной статистической оценке шума ЗТ

По мимо оценки шума по ЗТ, были проведены испытания по оценке шума ТЗ с торможением при заезде на уклон задом и передом на угол 6 и 25 градусов, а также транспортного средства после простоя, результаты данных испытаний представлены на рисунках 35-39.

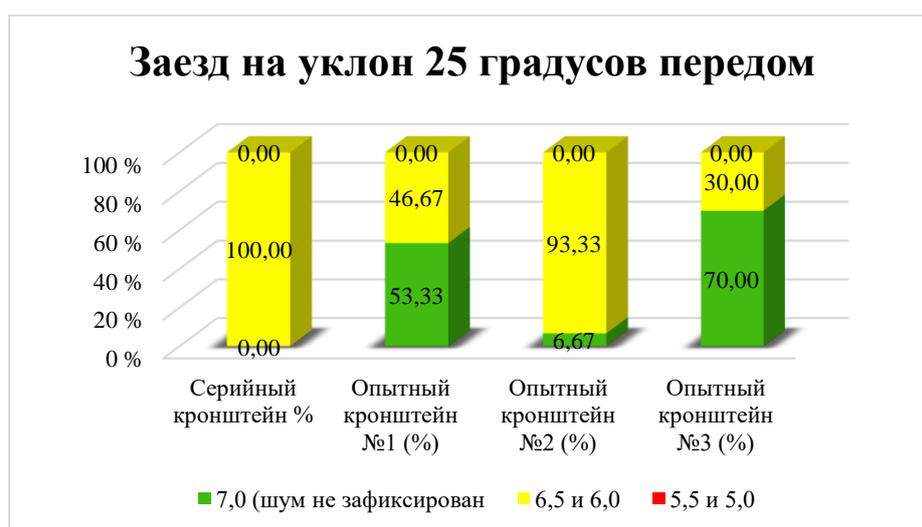


Рисунок 35 – Гистограмма количества шумных торможений в комплектации с серийным и опытным кронштейном при заезде на уклон 25 градусов передом

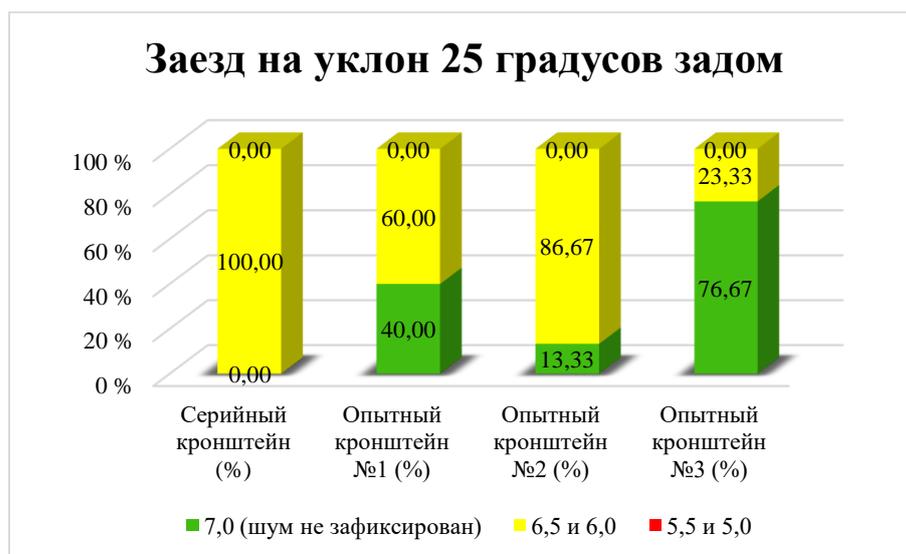


Рисунок 36 – Гистограмма количества шумных торможений в комплектации с серийным и опытным кронштейном при заезде на уклон 25 градусов задом

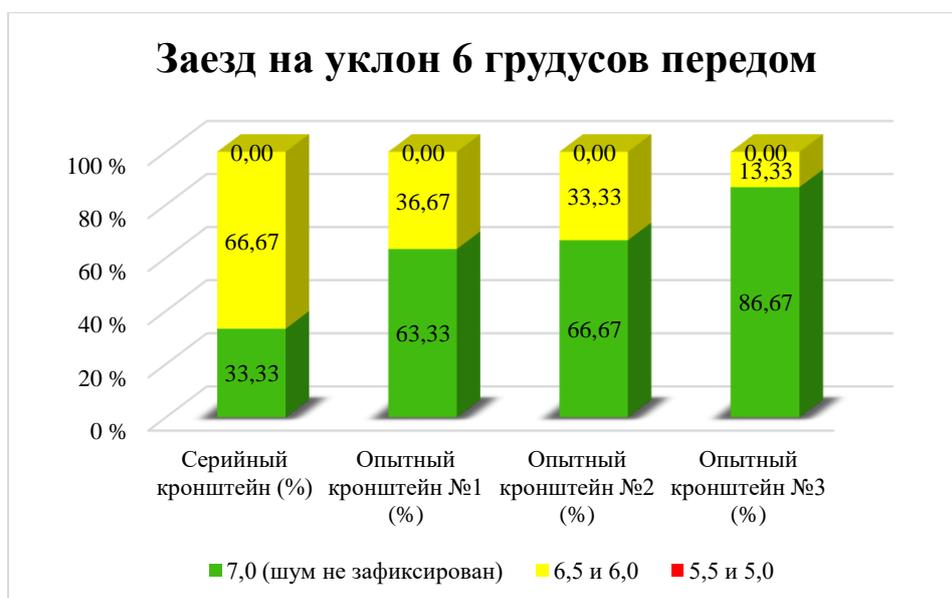


Рисунок 37 – Гистограмма количества шумных торможений в комплектации с серийным и опытным кронштейном при заезде на уклон 6 градусов передом

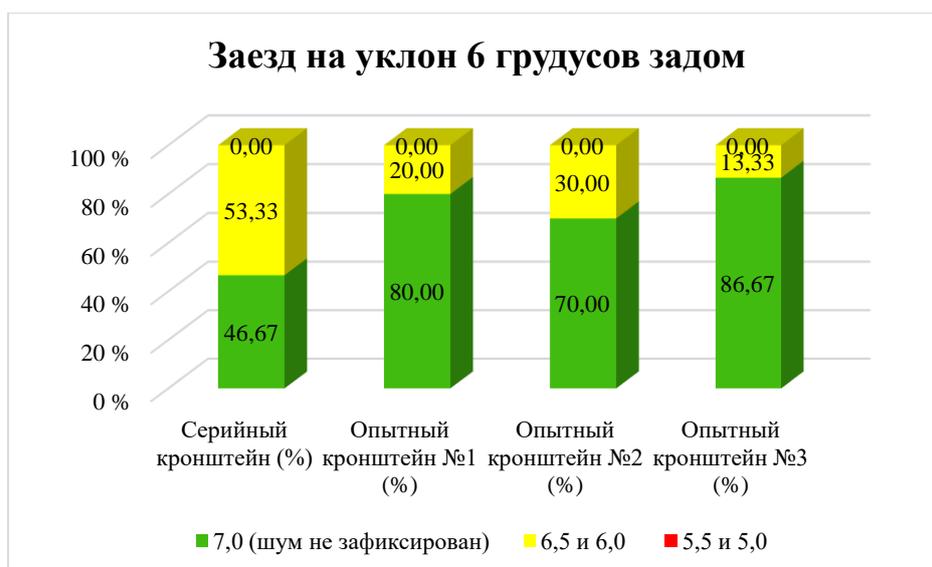


Рисунок 38 – Гистограмма количества шумных торможений в комплектации с серийным и опытным кронштейном при заезде на уклон 6 градусов задом

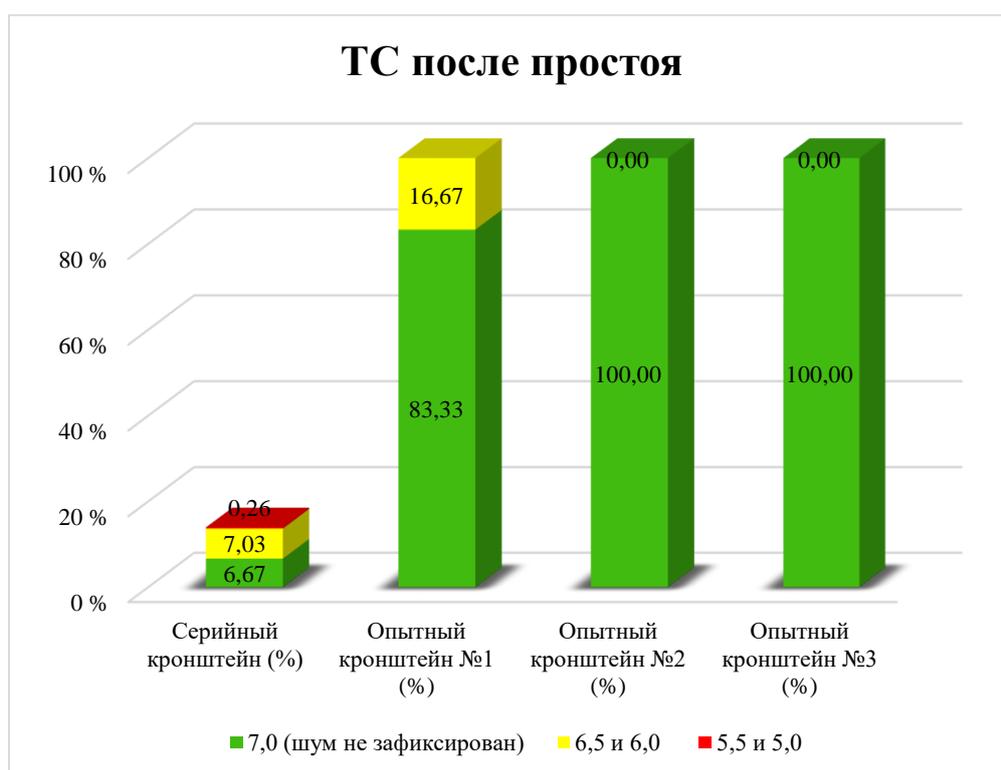


Рисунок 39 – Гистограмма количества шумных торможений в комплектации с серийным и опытным кронштейном ТС после простоя

Видно, что серийный кронштейн из ВЧ50 при одинаковом количестве торможений имел более высокий уровень показателей шума, чем опытный кронштейн из ВЧ40-1, что подтверждает ранее выдвинутое предположение о благоприятном, положительном влиянии доли вермикулярного графита в структуре чугуна с шаровидным графитом на его шумовые и вибрационные характеристики.

Основные результаты и выводы

В выполненном сравнительном прочностном расчете по математической модели детали были приведены теоретические значения напряжений, которые в последующем будет испытывать деталь, однако для применения в производстве нового материала мало только теоретических расчетов, поэтому было принято решение о проведении стендовых испытаний, результаты которых представлены в третьей главе. В данном случае на деталях из серийного ВЧ50 и исследуемого ВЧ40-1 не была определена статистическая прочность из-за того, что в процессе проведения испытания разрушились болты при нагрузках, приведенных в таблицах 11 и 13.

Химический состав отливок из ВЧ40-1, представленный в таблице 8, характеризует соотношением вермикулярного и шаровидного графита 30-45%/55-70%. Микроструктура, полученная при исследовании чугуна ВЧ40-1, определяет механические свойства, которые были представлены в таблицах 10 и 17. Показатели измерений (табл. 10 и 17) имеют значения ниже, чем те же самые значения механических свойств для чугуна марки ВЧ50. Несмотря на то, что механические свойства по показателям у ВЧ40-1 ниже, чем у ВЧ50, испытываемая деталь из нового материала прошла норму количества отработанных циклов (1000), а по показателям максимально зафиксированного усилия не намного уступила серийному ВЧ50.

Усадочные раковины, которые мы обнаружили с помощью рентгеновского метода неразрушающего контроля, являются микродефектом.

Такие микродефекты имеют категории опасности, в данном случае было установлено, что усадочные раковины имеют 1 и 2 уровень опасности. В данном случае такие микродефекты незначительно повлияют на увеличение напряжений, так как макет деталей, изготовленный конструктором, и сами детали были изготовлены с допуском, который учитывал возможное ослабление сечения за счёт образования литейных дефектов 1 и 2 уровня.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была поставлена цель: разработать способ получения гибридного высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом и установить его приемлемую работоспособности для кронштейнов крепления заднего дискового тормоза для автомобиля VESTA SW и XRAY Cross.

В процессе проведения исследований было определено, что чугун ВЧ50 полноценно, без рисков подлежит замене на чугун ВЧ40-1, то есть поставленная в работе цель достигнута.

Сравнительный анализ исходных используемых материалов показал, что деталь из стали будет иметь низкие демпфирующие свойства и высокую стоимость, деталь из ВЧ50, используемом изначально в серийном производстве, будет иметь те же недостатки, но в меньшем масштабе. При проведении анализа литературы о чугуне ВЧ50 было обнаружено, что для его производства используется экономичный модификатор типа ФСМг, но из-за большого количества его введения изготовление деталей из этого материала является затратным. При этом было определено, что ВЧ50 не имеет таких демпфирующих свойств, как ЧВГ, поэтому ставилась задача найти материал, располагающийся по демпфирующим свойствам и себестоимости между ВЧ и ЧВГ. Таким материалом оказался гибридный чугун ВЧ40-1, который обладает демпфирующими свойствами близкими к ЧВГ. Для гибридного чугуна ВЧ40-1 был проведён комплекс испытаний, которые показали, что данный чугун выдерживает определенные нагрузки, которые в последующем будет испытывать деталь, несмотря на то, что механические свойства у данного материала ниже чем у чугуна ВЧ50. Таким образом мы подтвердили возможность замены чугуна ВЧ50 на чугун ВЧ40-1 для изготовления кронштейнов крепления заднего тормоза правый/левый на модели VESTA SW и XRAY Cross.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Карабасов Ю.С., Черноусов П.И., Короточенко Н.А., Голубев О.В. Металлургия и время// Фундамент индустриальной цивилизации. Возрождение и Новое время. 2011. Т.2. С. 216-220.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1998. 495 с.
3. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка. М.: ИОВ, 2001. С. 112-113.
4. Беккер М.Б., Заславский М.Л. Машиностроение. М: ТТУ, 2008. 11 с.
5. Каргин В.Р., Каргин Б.В., Арышенский Е.В. Теория и технологияковки. М.: САМГТУ, 2021. С 98
6. Клочнев Н.И. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. М.: Литейное производство. 2003. №11. С. 13.
7. Лернер Ю.С., Таран Е.А., Сенкевич Ю.И., Соловьёв Л.Е. Технология получения высокопрочного чугуна за рубежом // Литейное производство. 1981. №6. С. 8 10
8. Красовский В.Н. Влияние микроструктуры и содержания марганца на механические свойства чугунов с шаровидным графитом // Проблемы прочности. 2006. №7. С. 26.
9. Болдырев Д.А., Давыдов С.В., Попова Л.И., Прасолов С.Г. Гибридный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом для средненагруженных деталей автомобиля // Литейщик России. 2022. № 1. С. 7.
10. Давыдов С.В. Модифицирование графитизированных конструкционных чугунов / С. В. Давыдов, Д. А. Болдырев, В. М. Сканцев. – Брянск: БГТУ, 2015. – 113 с
11. Габерцеттель А.И., Коростиленко П.А. Библиотечка литейщика. Плавка и разливка чугуна. Л.: Машиностроение 1980. №9. 104 с

12. Щербатинов М.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. Высокопрочный чугун в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1988. С. 111.
13. Кульбовский И.К. Роль микропримесей в формировании структуры графита в чугуне // *Металлургия машиностроения*. 2007. №2. С. 20.
14. Болдырев Д.А., Попова Л.И., Прасолов С.Г., Давыдов С.В., Токарев А. А. Высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом – рациональная альтернатива ковкому чугуну // *Литейщик России*. 2021. №3. С. 12.
15. Болдырев Д.А., Попова Л.И., Прасолов С.Г. О качественной идентификации чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом // *Литейщик России*. 2019. №11. С. 20.
16. Болдырев Д.А., Попова Л.И., Давыдов С.В. Высокопрочный чугун с шаровидным и вермикулярным графитом – оптимальный материал для автомобилестроения // *Литейное производство*. 2017. №5. С. 3.
17. George F., Vander Voort. *Metallography: Principles and Practice* // ASM International. 2006. P. 55.
18. Bramdon D.G. *Modern Techniques in Metallography* // Butterworths. 2010. P. 92.
19. Bramfitt B.L., Benschoter A.O. *Metallographer's Guide* // ASM International. 2013. P. 268.
20. Petzow G., Carle V. *Metallographic Etching* // ASM International. 2013. P. 108.
21. Viella J.R. *Metallographic Technique for Steel* // Society for Metals. 2003. P. 23.

Приложение А
Шкала экспертных оценок

Оценка в баллах	Эмоциональная окраска оценки действия, поддействия или неудобства	Работоспособность оцениваемой детали, узла, системы или автомобиля	Реакция потребителя на выявленные неудобства	Необходимость изменения конструкции	Соотношение с современным уровнем автомобилей
10	Превосходно	Функционирование превосходное, удачное техническое решение	Потребитель приятно удивлен	Доработка не требуется	Лучше верхнего уровня аналогов
9	Отлично	Функционирование отличное, технически верное	Потребитель чрезвычайно удовлетворен и не отмечает неудобств даже при критической оценке		
8	Хорошо	Функционирование удовлетворительное, нет отклонения от нормы	Потребитель удовлетворен и не замечает неудобств		
7	Удовлетворительно	Функционирование удовлетворительное, только незначительное отклонения от нормы	Неудобства выявлены только критичным потребителем	Доработка желательна	Средний уровень аналогов
6	Предельный случай		Выявленные неудобства затрудняют пользование		
5	Неудовлетворительно	Функционирование неудовлетворительное	Потребитель не удовлетворен, выявленные неудобства затрудняют пользование, привыкание невозможно	Доработка необходима	Нижний уровень аналогов
4	Плохо	Функционирование плохое	Потребитель разочарован выявленными неудобствами		
3	Неисправно	Функционирование воспринимается как неисправность	Потребитель расстроен, неудобства воспринимаются как не исправность		

Продолжение Приложения А

Оценка в баллах	Эмоциональная окраска оценки действия, поддействия или неудобства	Работоспособность оцениваемой детали, узла, системы или автомобиля	Реакция потребителя на выявленные неудобства	Необходимость изменения конструкции	Соотношение с современным уровнем автомобилей
2	Недопустимо	Функционирование привело к поломке	Потребитель очень расстроен – функционирование невозможно	Доработка необходима	Хуже нижнего уровня аналогов
1	Небезопасно	Функционирование угрожает здоровью участников движения	Потребитель зол – угроза судебного иска		