

МИНИСТЕРСТВО 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»
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

И. о. завкафедрой «НМиМ»

_____ А.С. Селиванов
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Махмутьянова Полина Руслановна

1. Тема «Формирование стабильных структуры и свойств чугуна ВЧ65 в отливке «Вал коленчатый» оптимизацией его химического состава и технологии модифицирования»

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 15.06.2017

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе материалы по преддипломной практике, стандарты предприятия

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов):

Аннотация

Abstract

Введение

1. *Раздел «Аналитический обзор»*

2. *Раздел «Материал и методы исследования»*

3. *Раздел «Безопасность и экологичность технического объекта»*

4. *Раздел «Результаты проведённых испытаний»*

Заключение

Список использованной литературы

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала презентация к бакалаврской работе

6. Консультанты по разделам:

«Безопасность и экологичность»	<u>Л. Н. Горина</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Аннотация на английском языке	<u>Н.В. Яценко</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Нормоконтроль	<u>В. Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

7. Дата выдачи задания «1» марта 2017 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы

_____ Л.И. Попова
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ П.Р. Махмутьянова
(подпись) (И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО 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»
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

И. о. завкафедрой «НМиМ»

_____ А.С. Селиванов
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы

Студента: Махмутьяновой Полины Руслановны

по теме: «Формирование стабильных структуры и свойств чугуна ВЧ65 в отливке «Вал колеччатый» оптимизацией его химического состава и технологии модифицирования»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Аннотация	03.03.2017	04.03.2017	Выполнено	
Abstract	05.03.2017	08.03.2017	Выполнено	
Введение	09.03.2017	14.03.2017	Выполнено	
Аналитический обзор	20.03.2017	04.04.2017	Выполнено	
Материал и методы исследования	07.04.2017	15.04.2017	Выполнено	
Безопасность и экологичность технического объекта	17.04.2017	17.05.2017	Выполнено	
Результаты проведённых испытаний	19.05.2017	22.05.2017	Выполнено	
Заключение	22.05.2017	23.05.2017	Выполнено	
Список использованных источников	25.05.2017	03.06.2017	Выполнено	

Руководитель выпускной
квалификационной работы

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

_____ (подпись)

Л.И. Попова

(И.О. Фамилия)

П.Р. Махмутьянова

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Настоящая бакалаврская работа посвящена разработке технологии модифицирования высокопрочного чугуна ВЧ65 методом «заливки сверху», с применением безникелевой лигатуры, оптимизации химического состава сплава, обеспечивающего стабильность структуры и свойств чугуна.

Объектом бакалаврской работы являются отливки деталей «Вал коленчатый» из высокопрочного чугуна. Данные исследования состоят из двух основных частей:

1. отработка технологического процесса модифицирования
2. контроль структуры и свойств опытных отливок

Во введении представлены цели и задачи, так же новизна и актуальность данной работы.

Аналитический обзор, представляющий собой первый раздел работы, посвящен рассмотрению технологических процессов модифицирования высокопрочных чугунов. Рассмотрены достоинства и недостатки различных способов модифицирования, а также влияние химического состава модификатора на процессы графитизации и структурообразования чугунов.

Во втором разделе описан химический состав и указаны требования к механическим свойствам высокопрочного чугуна ВЧ65, как объекта исследования. Описаны методы исследования и необходимое для этого оборудование.

Результаты исследования, их анализ и выводы представлены в третьем разделе настоящей работы.

Четвертый раздел посвящен вопросам экологичности технологического процесса и безопасности труда.

Пояснительная записка содержит 70 страниц, 20 рисунков, 18 таблиц, 32 источника и 1 приложение.

ABSTRACT

The graduation work is devoted to the development of technology for modifying high-strength cast iron (Gh 75-50-03) by the method of downhill casting using a nickel-free master alloy and to optimizing the chemical composition of the alloy which ensures the stability of the structure and properties of cast iron.

The subject of the graduation work is the casting of cranked shaft in high-strength cast iron. The research consists of two main parts:

1. testing the modification technological process
2. controlling of the structure and properties of the experimental castings.

The introduction presents goals and objectives, as well as the novelty and relevance of this work.

The first section of the work containing the analytical review is devoted to the consideration of technological processes for modifying high-strength cast irons. The advantages and disadvantages of various methods of modification are considered, as well as the effect of the chemical composition of the modifier on the processes of graphitization and structure formation of cast irons.

The second section describes the chemical composition and specifies the requirements for the mechanical properties of high-strength cast iron (Gh 75-50-03) as the object of the research. The methods of the research and the necessary equipment are described.

The results of the study, their analysis and the conclusions are presented in the third section of this work.

The fourth section is devoted to the issues of environmental friendliness of the technological process and labor safety.

The explanatory note contains 70 pages, 20 figures, 18 tables, 32 sources, 1 attachment.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	10
1.1 Основные сведения о процессе модифицирования чугунов	11
1.2 Технология модифицирования чугуна с шаровидным графитом.....	17
1.3 Влияние Si, Mn, Mg, Cu на процессы графитообразования	24
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	27
2.1 Материалы и объекты исследования	27
2.2 Методы исследования.....	28
2.2.1 Метод спектрального анализа	28
2.2.2 Микроскопический анализ.....	29
2.2.3 Определение твердости	32
2.2.4 Испытания на разрыв.....	34
3. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	36
3.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика чугунолитейного производства ОАО «АВТОВАЗ»	38
3.2 Идентификация профессиональных рисков.....	40
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	41
3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	42
3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	44
3.6 Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта»	45
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	46
4.1 Расчет скорости подачи расплава в ковш.....	46
4.2 Исследование опытной партии отливок деталей из высоких марок ВЧШГ способом «заливка сверху» с использованием легкой лигатуры ФСМг6ЛА..	48

4.3. Исследование возможности исключения операции нормализации при изготовлении деталей «Вал коленчатый»	53
4.4. Отработка технологического процесса модифицирования отливок деталей высоких марок ВЧШГ ковшевым модифицированием по технологии «заливка сверху» с использованием легкой лигатуры ФСМг6ЛА	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А	70

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития науки и техники позволяет создавать автомобили с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, комфортабельные и экологически безопасные. С другой стороны, это приводит к усложнению конструкции автомобилей и ужесточению конкуренции между производителями.

Для всех, без исключения, автомобилестроительных предприятий, стоит задача создания выпускаемой продукции с наилучшими показателями соотношения «цена-качество». Применение более дешевых материалов и технологий в автомобилестроении не должно отражаться на надежности, долговечности и безопасности автомобилей.

Настоящая работа посвящена разработке процесса модифицирования высокопрочного чугуна безникелевой легатурой, что в 3 раза удешевляет стоимость деталей, без снижения характеристик прочности и надежности материала. В связи с чем, исследования, приведенные в данной работе являются актуальными.

Целью работы: подобрать для отливки детали «Вал коленчатый» легкового автомобиля рациональную марку ВЧ и определить технологические параметры экономичного способа ее получения.

Задачами работы являются:

1. Провести аналитический обзор по теме исследования, аргументировать необходимость изменения и выбор марки ВЧ для отливки детали «Вал коленчатый».
2. Предложить экономичную технологию получения отливок деталей «Вал коленчатый» из назначенной марки ВЧ, изготовить по ней опытные партии отливок, при необходимости скорректировать и уточнить её технологические параметры для получения устойчивых результатов.

3. Определить соответствие химического состава, структуры и механических свойств опытных отливок деталей «Вал коленчатый» нормативным требованиям.
4. Исследовать возможность получения отливок деталей «Вал коленчатый» из выбранной марки ВЧ без термической обработки (нормализации).

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Высокопрочный чугун (ВЧ – чугун с шаровидным графитом) получают модифицированием жидкого чугуна [1]. Графитные включения шаровидной формы, характерные для высокопрочного чугуна, обеспечивают более высокие характеристики прочности и пластичности сплава, по сравнению с серыми чугунами, в структуре которых присутствует графит пластинчатой формы.

Неметаллические графитные включения имеют плотность много меньшую, чем плотность металлической основы, являются концентраторами напряжений и, как следствие, значительно ослабляют рабочее сечение. Как известно, величина концентрации напряжений обратно пропорциональна радиусу закругления концентратора напряжений. Поэтому, вокруг шаровидных включений графита, имеющих больший радиус закругления, чем пластинки, создаются меньшие напряжения, что и способствует повышению прочностных и пластических свойств [2].

Получение шаровидного графита в чугуне достигается модифицированием расплава присадками, содержащими Mg, Ca, Ce и другие редкоземельные металлы (РЗМ).

Химический состав и свойства высокопрочных чугунов регламентируются ГОСТ 7293-85 [3] и маркируются буквами «В» — высокопрочный, «Ч» — чугун и числом, обозначающим среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, ВЧ65 – высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении 650 МПа (или 65 кг/мм²).

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом является наиболее перспективным литейным сплавом, с помощью которого можно успешно решать проблему снижения массы конструкций при сохранении их высокой надежности и долговечности.

Высокопрочный чугун используют для изготовления ответственных деталей в автомобилестроении (коленчатые валы, зубчатые колеса, цилиндры и др.).

1.1 Основные сведения о процессе модифицирования чугунов

Развитию технологий и машиностроительного производства сопутствует повышение требований по свойствам к используемым материалам. В частности к высокопрочному чугуну, как одному из наиболее распространенных и дешевых литейных сплавов. Одним из основных путей повышения качества чугуна является модифицирование, которое позволяет в широких пределах регулировать процесс структурообразования при затвердевании отливки [4,5].

Технология модифицирования высокопрочного чугуна является контролируемым процессом, позволяющим направленно изменять микроструктуру и улучшать его механические свойства. Эффективность модифицирования чугунов определяют следующие факторы:

- Количество, химический состав модифицирующих добавок, а также последовательность их введения;
- Состав шихтовых материалов и технология их переплава;
- Итоговый химический состав выплавленного чугуна;
- Технология заливки деталей;
- Условия кристаллизации чугуна в отливке.

В общем случае, можно выделить следующие группы модификаторов:

- Графитизирующие
- Стабилизирующие
- Сфероидизирующие.

Первая группа модификаторов способствует графитизации чугуна в процессе эвтектического превращения через образование дополнительных центров кристаллизации графита. С увеличением их числа снижается переохлаждение расплава перед затвердеванием эвтектики, что способствует предотвращению отбела [6,7].

Стабилизирующие элементы, входящие в состав модификатора, не оказывают влияния на процесс образования и роста графита при кристаллизации. Их вводят с целью сохранения цементита ниже температуры

эвтектического превращения, что способствует увеличению количества перлита в структуре отливок, и как следствие, повышению комплекса механических свойств. Положительный эффект от введения стабилизирующих модификаторов связан и с их способностью приближать форму графита к шаровидной.

Название «сфероидизирующие модификаторы» говорит само за себя. Именно эти модификаторы обеспечивают формирование глобулярного графита, поэтому являются необходимой частью в составе модификаторов, используемых при получении высокопрочных чугунов.

В большинстве случаев в практике литейного производства используют комплексные модификаторы, в состав которых входят магний, кремний, литий, алюминий, кальций, марганец, бериллий, церий, иттрий и другие редкоземельные металлы (РЗМ) [8].

В качестве основы лигатуры обычно используют никель, медь, кремний или кальций. К составу лигатур предъявляется целый комплекс требований, среди которых можно выделить следующие:

- Высокая модифицирующая способность при сравнительно малых дозах модификатора;
- Регламентируемая плотность лигатуры, обеспечивающая ее высокую степень усвоения при сравнительно простых методах ввода в расплав;
- Минимальное дымовыделение и предотвращение пироэффектов при введении лигатур;
- Регламентируемая «живучесть» модификатора, обеспечивающая достижение модифицирующего эффекта непосредственно в готовой отливке в максимальной степени.

Комплексные сфероидизирующие модификаторы предназначены для получения отливок из высокопрочного чугуна и модифицирования стали. Ковшовое модифицирование предполагает использование модификаторов с высоким содержанием магния. Внутриформенное модифицирование проводят модификаторами с пониженным содержанием магния и редкоземельных

металлов, чтобы уменьшить вероятность образования усадочных дефектов в отливках. Например, модификатор ФСМг6Ла, в составе которого только лантан представляет редкоземельные элементы, показывает хорошие результаты по минимизации вероятности образования усадочных, газовых и поверхностных дефектов.

Модификаторы с минимальным содержанием магния используют для уменьшения испарения магния и устранения пироэффекта. Однако в этом случае необходимо увеличить модифицирующую способность присадок и снизить выгорание магния, что обеспечивается повышенным содержанием кальция и редкоземельных элементов в их составе [9].

Модификатор ФСМг6Ла для ковшевых обработок высокопрочного чугуна:

- Увеличивает количество включений графита и степень их шаровидности
- Снижает склонность чугуна к отбелу
- Минимизирует усадку в отливках
- Снижает себестоимость литья
- Обеспечивает стабильное производство высококачественного литья

Большинство представленных в настоящее время на рынке модификаторов типа ФСМг содержат в своем составе РЗМ в виде мишметалла. Мишметалл, как правило, представляет собой смесь РЗМ, состоящую из 50% церия, 20-25% лантана и небольшие количества неодима, празеодима и других редкоземельных элементов.

Широко известны случаи эффективного использования других редкоземельных элементов для ряда специальных способов обработки высокопрочного чугуна. Так, например, модификатор ФСМг6Ла, используемый для внутриформенного модифицирования, известен во всем мире как материал с жестко контролируемым химическим и фракционным составом, обеспечивая тем самым стабильные результаты обработки чугуна. Использование лантана, в качестве источника РЗМ в ФСМг имеет еще одно преимущество при

проведении ковшевых обработок высокопрочного чугуна или при «модифицировании в потоке», а именно: контроль над усадкой в отливках.

Все литейные предприятия в той или иной форме сталкиваются с проблемой формирования усадки или микропористости. В некоторых случаях проблему решают установкой дополнительных прибылей, тем самым, увеличивая себестоимость литья и снижая выход годного, в других случаях наличие незначительной микропористости в отливках допускается предъявляемыми к отливке требованиями.

Наиболее распространенные причины формирования усадки в ВЧ:

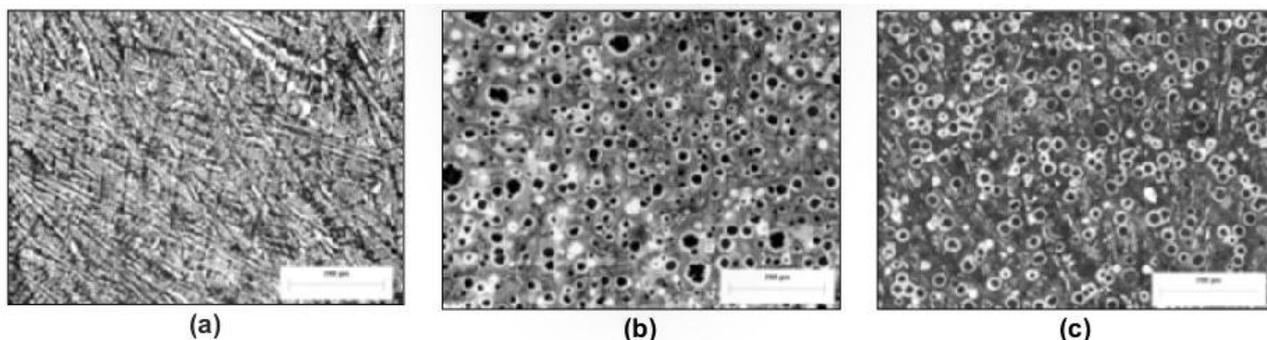
- Недостаточная прочность формы
- Ошибки проектирования и расчета литниково-питающей системы
- Слишком низкий углеродный эквивалент
- Избыточное количество остаточного магния в отливках
- Избыточное количество легирующих добавок
- Неэффективное или отсутствие вторичного графитизирующего модифицирования
- Длительные выдержки обработанного чугуна (перед заливкой)

Модификатор ФСМг6Ла для ковшевых обработок.

Уже с начала 80-х годов прошлого столетия известно, что лантан оказывает положительное воздействие на склонность чугуна к усадке в случае его применения в составе модификатора для внутриформенного модифицирования. Однако, до тех пор, пока не начали производить лантан-содержащего модификатора для ковшевых обработок этот положительный эффект от ввода лантана не был использован в литейной промышленности.

Рисунок 1 показывает эффект от ввода лантан-содержащего модификатора типа ФСМг по сравнению с ФСМг без РЗМ. На рисунке представлены фотографии микроструктур отливки толщиной сечения 5 мм, чугун не подвергался вторичному графитизирующему модифицированию, в то

время как тенденция к формированию карбидов была значительно снижена при использовании ФСМГ с мишметаллом, использование лантан-содержащего ФСМГ практически полностью устранило отбел (Fe_3C). Это так же оказало эффект и на количество шаровидных включений графита (рисунок 2).



(a) ФСМГ без РЗМ, (b) ФСМГ с 0,5% La, (c) ФСМГ с 1,0% мишметалла.

Рисунок 1 – Микроструктура в отливке толщиной 5 мм, изготовленной из чугуна, обработанного разными марками ФСМГ

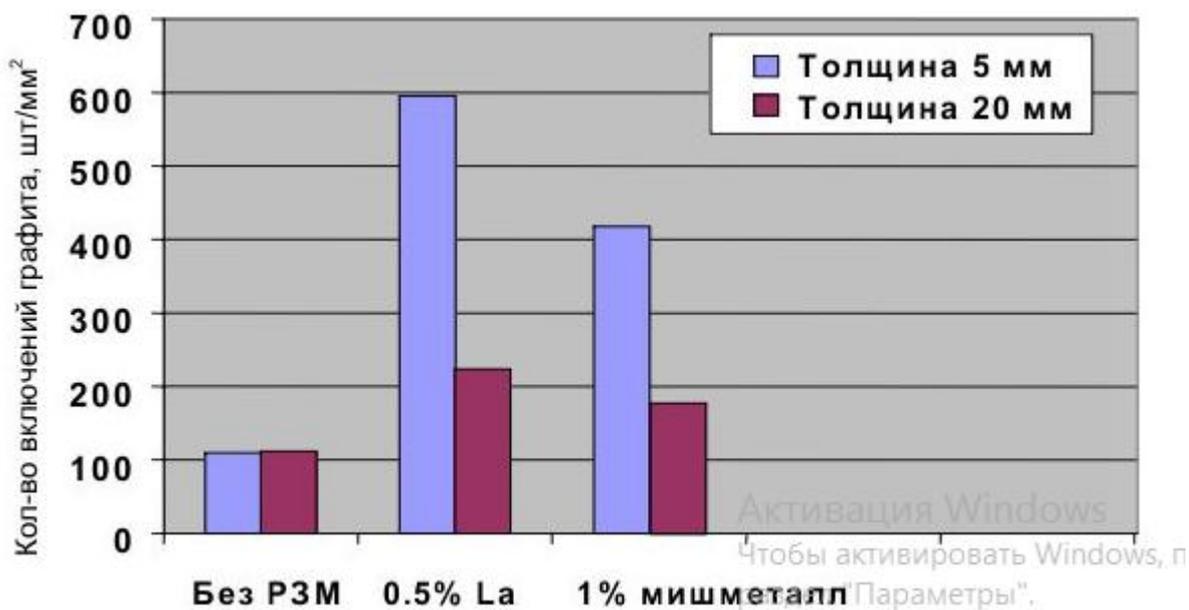
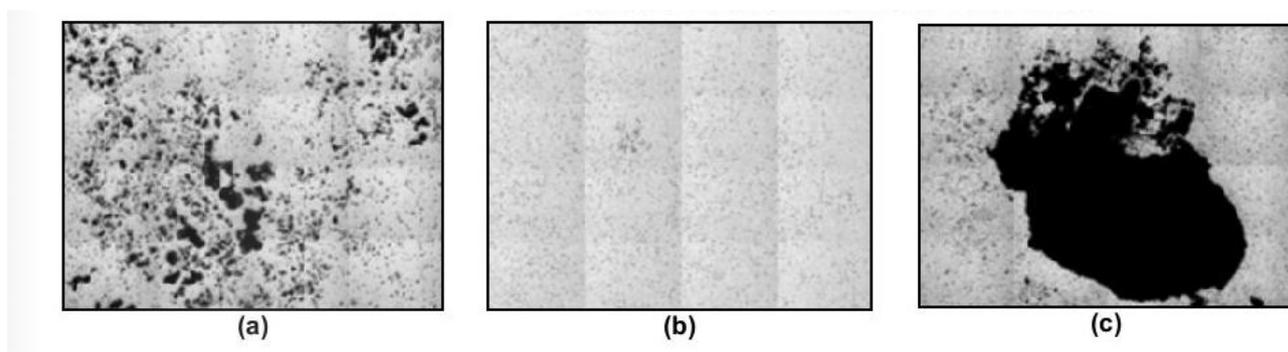


Рисунок 2 – Эффект от обработки расплава лантаном на количество включений графита в отливке толщиной 5 и 20 мм

Эффект лантан-содержащего ФСМг на усадку наглядно представлен на рисунке 3. В данном случае представлен участок тестовой отливки, питание которого было затруднено.



(a) ФСМг без РЗМ, (b) ФСМг с 0,5% La, (c) ФСМг с 1,0% мишметалла.

Рисунок 3 – Усадочная пористость в тепловом узле отливки типа «крестовина», изготовленной из чугуна, обработанного различными марками ФСМг

ФСМг6Ла – лантан-содержащий модификатор. Данные модификаторы могут производиться различного химического состава и фракций для того, чтобы подходить к любым условиям производства. Ниже приведена спецификация (рисунок 4) одного из самых широко используемых модификаторов ФСМг для ковшевых обработок, ФСМг6Ла который применяется на литейных предприятиях по всему миру.

	Спецификация	Типично
% Mg	5.55 – 6.15	5.60
% La	0.35 – 0.55	0.45
% Ca	0.80 – 1.20	1.00
% Al	0.40 – 1.00	0.60
% Si	44 – 48	46
% Fe	По балансу	

Рисунок 4 – Спецификация на ФСМг6Ла

Модификатор ФСМг6Ла производится при тщательном контроле химического состава, а колебания элементов незначительны, что характерно для производства всех марок ФСМг. Это приводит к предсказуемому и более стабильному усвоению модифицирующих элементов, по сравнению с

модификаторами других производителей, и, как результат, навеска ФСМг может быть минимизирована, обеспечивая при этом получение высококачественных отливок из ВЧ.

Усвоение модифицирующих элементов расплавом, обеспечивающих глобулярную форму графитных включений в чугунах, зависит от таких технологических характеристик как, температура и объем заливаемого металла; химического состава и фракционных размеров модификатора; скорости подачи расплава в реакционную ёмкость; способа модифицирования.

1.2 Технология модифицирования чугуна с шаровидным графитом

В течение большого времени, на чугунолитейных производствах исследуются всевозможные методы получения чугуна с шаровидным графитом. Как мы обозначили, наиболее популярными модификаторами для получения чугуна с шаровидным графитом представляют магнийсодержащие лигатуры.

В настоящее время, почти все зарубежные и российские чугунолитейные производства уже изучили или изучают новые технологии модифицирования высокопрочного чугуна: «сэндвич»-процесс и заливка сверху.

«Сэндвич» метод – это хорошо применяемый метод в масштабном производстве автомобильных отливок из чугуна с шаровидным графитом (рисунок 5). В указанном методе мелкокусковой сфероидизирующий модификатор, содержащего магний размещается в углублении футеровки на дне ковша. Сверху модификатор засыпают покрывным материалом, в качестве которого используют стальную или чугунную дробь, ферросилиций. Это способствует задержки начала реакции расплава с модификатором и подстуживанию расплава до модифицирования.

Ковш наполняют жидким расплавом таким образом, чтобы струя металла не попадала сразу в область расположения модификатора.

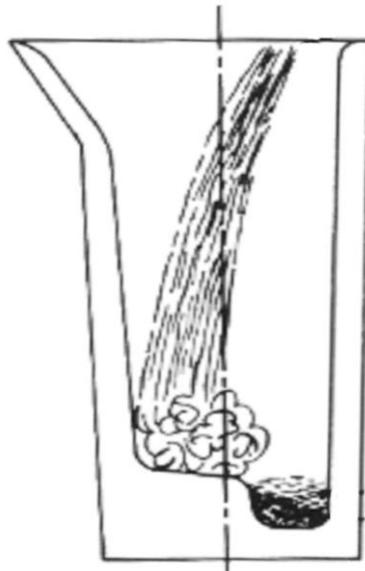


Рисунок 5 – Схема модифицирования «сэндвич»-процесс

Для модифицирования по «сэндвич» - методу изготавливают углубление в донной части ковша, называемое реакционной камерой. Причем ее объем должен быть больше объема лигатуры на величину присыпки покрывного материала. Засыпку модификатора в разогретый ковш осуществляют через загрузочную трубу с раструбом в верхней части [10].

«Сэндвич»-процесс обеспечивает контролируемое время заливки, необходимую площадь реагирования модифицирующих элементов с расплавом, предотвращает всплытие легкого, по сравнению с расплавом модификатора в процессе заливки. Часть тепла жидкого чугуна затрачивается на расплавление присыпки, за счет чего снижается температура, при которой происходит реакция расплава с лигатурой. Все эти факторы позволяют увеличить усвоение магния из лигатуры до 60%.

Для модифицирования высокопрочных чугунов применяют ферросилиций, с содержанием магния от 3 до 12%. Преимущества использования ферросиликомагния в качестве сфероидизирующего модификатора:

1. Ферросиликомагний (ФСМг) является наиболее экономичным материалом для ввода магния в расплав. Контроль над содержанием магния и фракционным составом ферросиликомагния обеспечивают высокую степень усвоения магния, уменьшая тем самым необходимую навеску модификатора.

2. Контролируемый уровень содержания магния, кальция и церия (РЗМ) позволяет снизить до минимума химическую активность магния и гарантировать более стабильный результат модифицирования.

3. Контролируемая химическая активность магния, обусловленная измельчённой структурой материала, снижает интенсивность газовыделения и пироэффект при обработке расплава. Основным преимуществом использования мелких фракций является их высокая насыпная плотность. После того как тепло металла, находящегося над карманом, проникает в него через материал покрытия, модификатор спекается в брикет, и с самого начала реакция протекает мягко и медленно по толщине спечённого модификатора. Такой ход реакции обеспечивает очень высокую надёжность результатов модифицирования, высокую степень усвоения магния, минимальные выбросы дыма и газа.

4. Сбалансированное содержание кальция и церия, а также их однородное распределение по всей структуре материала, способствуют зарождению и росту более высокого количества шаровидных включений графита, в результате чего уменьшается навеска, необходимая для последующего вторичного графитизирующего модифицирования.

5. Измельчённая структура модификатора позволяет получать более прочный материал, уменьшая потери материала из-за истирания при его транспортировке.

6. «Меняя концентрацию магния в лигатуре, можно управлять процессом его парообразования при вводе в чугун» [11].

В последнее время широкое распространение получили сравнительно лёгкие комплексные магнийсодержащие лигатуры на основе ферросилиция [12]. Эти лигатуры отличаются небольшим содержанием магния (до 12%), поэтому их введение не сопровождается сильными вспышками и выбросами, их можно вводить без использования герметических устройств, однако их плотность меньше плотности жидкого чугуна. В связи с этим для успешного введения, а также уменьшения расхода лёгких магниевых лигатур необходимы

устройства или приспособления, позволяющие удерживать их внутри жидкого металла [13].

Главными достоинствами «сэндвич»-процесса являются: низкая себестоимость, простота и технологическая гибкость, высокое усвоение магния из лигатуры, пониженное шлакообразование.

А главными недостатками являются: значительные дымовыделения оксида магния и свечение, сопровождающие обработку и как следствие, ухудшение экологии в цехе [10].

«Сэндвич»-процесс является одним из наиболее перспективных и экономичных способов ковшевого модифицирования чугуна с использованием низкопроцентных магниевых лигатур. Каждое предприятие, специализирующееся на чугунном литье, дорабатывает этот базовый способ применительно к своим индивидуальным особенностям производства.

Данный процесс применяется на чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ» при изготовлении групповых отливок поршневых колец из высокопрочного чугуна.

Необходимыми условиями проведения эффективного модифицирования являются отсутствие попадания расплава, заливаемого в ковш, в карман с модификатором и постепенное, равномерное заполнение ковша металлом. При этом начинает растворяться покровный материал (графитизирующий модификатор ФС75) и в момент окончательного заполнения ковша начинается реакция с магнием. Для выполнения всех этих условий на чугунолитейном производстве применяется двустадийный процесс заливки с переливом из печи в промежуточный ковш и из него – в ковш для модифицирования. Необходимость этого обусловлена тем, что струя металла из печи является достаточно широкой и увеличивается в сечении при увеличении наклона печи в момент отбора расплава. (Для справки – ёмкость печей на чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ» – 6 т).

Большая вместимость печей на чугунолитейном производстве (20–40 т) не позволяет точно заливать расплав в ковш без попадания в карман. При

дополнительном введении в процесс промежуточного ковша для перелива, снижается производительность процесса заливки и повышается трудоёмкость. Помимо этого является необходимым выделение места в цехе с мощной вентиляцией для перелива расплава в ковш для модифицирования и погрузчики, оборудованные устройствами для поворота ковшей. Возможность применения «Сэндвич»-процесса ограничена и объемом открытого ковша для модифицирования. Практика показывает, что для данного способа модифицирования необходимо использовать ковши, имеющие соотношение высоты к среднему диаметру не менее $2 \div 2,5:1$.

Таким образом, главными достоинствами «сэндвич»-процесса являются: низкая себестоимость, простота и технологическая гибкость, высокое усвоение магния из лигатуры, пониженное шлакообразование. А основными недостатками являются:

- Невозможность отбора расплава в ковш для модифицирования непосредственно из плавильных печей;
- Снижение производительности заливочного участка;
- Значительные дымовыделения оксида магния и свечение, сопровождающие обработку и как следствие, ухудшение экологии в цехе [10].
- Невозможность использования заливочных ковшей небольшого объема.

В чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ» достаточно широко применяют заливочные ковши металлоёмкостью 1,2 т, которые имеют соотношение высоты к среднему диаметру 1,4:1. В ковшах такого объема практически не возможно добиться стабильности процесса модифицирования высокопрочного чугуна способом типа «сэндвич» [14-16]. Дополнительно следует отметить, что при существующем характеристическом соотношении в ковше – 1,4:1 – «сэндвич»-процесс модифицирования высокопрочного чугуна отличается высокой трудоёмкостью и низкой технологичностью.

Таким образом, была поставлена производственная задача по разработке нового технологического процесса ковшевого модифицирования

высокопрочного чугуна, с одной стороны, более простого и приемлемого по сравнению с «сэндвич»-процессом, а с другой – позволяющего стабильно получать необходимое качество чугуна в отливках [17,18].

Разработанный технологический процесс получил название – «заливка сверху» (рисунок 6) [19-20].

Технология модифицирования «заливкой сверху» предполагает размещение силикомагниевого лигатуры на противоположной от носка стороне в донной части ковша. Лигатура либо засыпается через специальную трубу (рисунок 6, а), либо укладывается завернутой в полиэтилен на дно ковша, который поворачивают на 45° (рисунок 6, б).

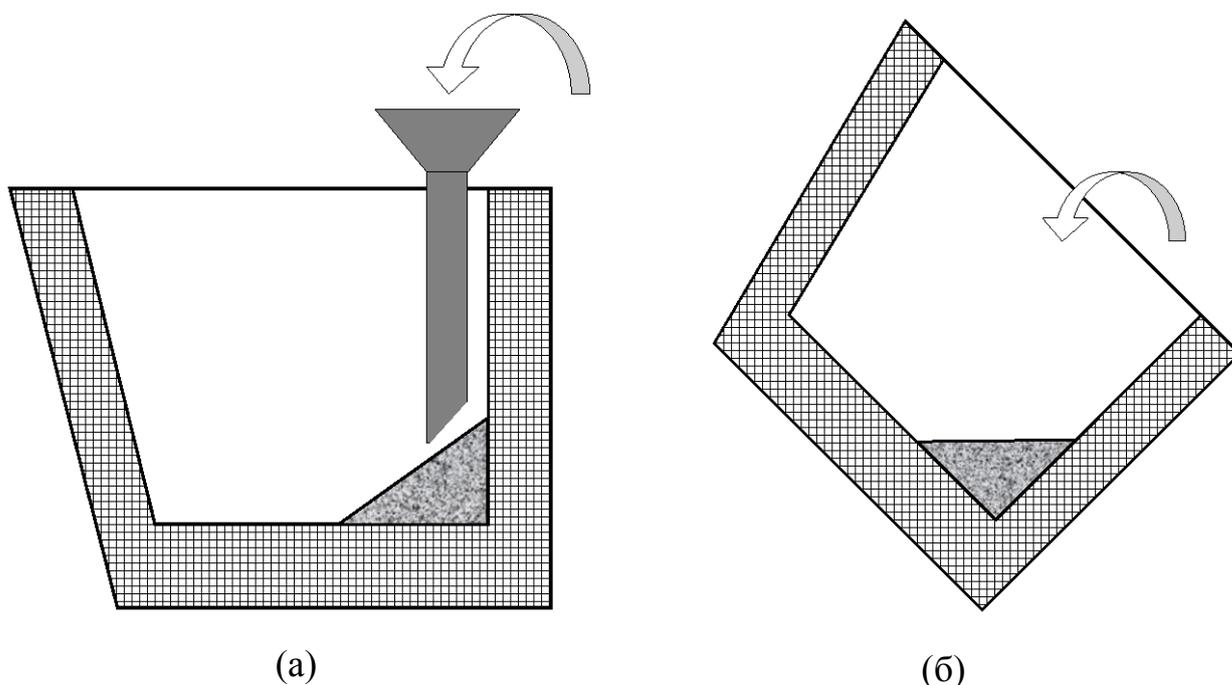


Рисунок 6 – Способы укладки «лёгкого» модификатора ФСМг по технологии «заливка сверху»

Последовательность выполнения операций при работе по технологии «заливка сверху»:

1. В индукционной печи подготовить чугун требуемой марки в зависимости от номенклатуры отливок. Перед выдачей расплава чугуна на линию заливки определить его химический состав. Все остальные технологические параметры должны соответствовать инструкции.

2. В заднюю часть днища ковша (напротив носка) с помощью специальной воронки или путём поворота ковша поместить сфероидизирующий модификатор; при необходимости засыпать поверх сфероидизирующего модификатора требуемое количество графитизирующего модификатора.

3. За время 30...60 с (предпочтительнее – за 40...50 с) наполнить заливочный ковш расплавом чугуна из печи.

4. На погрузчике транспортировать заливочный ковш с чугуном к линии, снять шлак, произвести замер температуры расплава чугуна и подать ковш на заливочную тележку.

5. В литниковую чашу каждой формы на линии поместить кусок модификатора ФС75л3 массой 150...200 г.

Во процессе подачи расплавленного металла в ковш необходимо, чтобы струя расплава попадала ближе к носку ковша. В этом случае предотвращается размывание модификатора и преждевременная реакция с жидким чугуном. Необходимо обеспечить и непрерывную подачу расплавленного металла из печи ожидания. Скорость подачи струи должна определяться, исходя из соображений обеспечения максимального реагирования модификатора с металлом расплава, отсутствия выплеска металла и выброса частиц модификатора.

Быстрое заполнение ковша при $Re > 6000$ приводит к выплеску металла, выбросу частиц модификатора и нестабильности процесса. В связи с чем существуют определенные ограничения при использовании данной технологии.

С другой стороны, слишком медленная подача расплава из печи в ковш при $Re < 3000$ приводит всплыванию частиц модификатора на поверхность, его реакции с кислородом. В связи с чем наблюдается быстрое угасание модифицирующего эффекта и значительный угар магния [21]. Поэтому, при разработке технологического процесса модифицирования способом «заливка сверху» необходимо определить скорость подачи струи и количество навески

модификатора, обеспечивающие стабильность процесса и качество отливок. Данный вопрос освещен в разделе экспериментальных исследований.

1.3 Влияние Si, Mn, Mg, Cu на процессы графитообразования

Обычный промышленный чугун является не двойным железоуглеродистым сплавом - он включает в себя такие примеси, как кремний, марганец, магний и медь. Эти примеси значительно воздействуют на процесс графитизации и, соответственно, на свойства и структуру чугуна.

Кремний в большей степени влияет на структуру чугуна, сдвигает эвтектическую точку в сторону более низких концентраций углерода, делая чугун заэвтектическим, и тем самым способствует графитизации чугуна. Содержание кремния в чугунах изменяется в достаточно широких пределах: от 0,3-0,5 до 3-5 %. Кремний улучшает литейные свойства чугуна и позволяет получать различные по структуре, форме графита и свойствам чугуны за счет варьирования его содержания. Общеизвестно, что возникновение в ферритографитной структуре чугуна вспомогательной высококремнистой фазы типа Fe_3Si приводит к охрупчиванию высококремнистых чугунов с шаровидным графитом. В свою очередь, искажения кристаллической решетки феррита при повышенном легировании кремнием приводит к увеличению прочности с одновременным понижением значений пластичности и ударной вязкости [22]. Поэтому, в большинстве случаев содержание кремния ограничено 1,5%.

Воздействие марганца на процесс кристаллизации чугуна практически противоположно кремнию. Марганец затрудняет графитизацию чугуна, способствует отбеливанию и увеличивает усадку чугуна. Его положительное влияние заключается в нейтрализации серы, как вредной примеси и упрочняющему эффекту за счет увеличения количества и измельчения перлитной составляющей металлической основы. Положительное влияние марганца на механические свойства чугуна наблюдаются при его содержании до

1,3 %.

Медь, как и кремний, способствует графитизации углерода, увеличивается количество перлита, увеличивает жидкотекучесть, повышает прокаливаемость, повышает прочность и твердость сплава. Не так давно, было продемонстрировано усиление механических характеристик способом микролегирования высокопрочного чугуна, такими графитообразующими модификаторами как марганец и медь [23]. Медь, при ее содержании более 2% препятствует образованию шаровидного графита. При содержании меди до 1%, предел прочности увеличивается на 40%, а предел текучести увеличивается на 50%, без уменьшения ударной вязкости. Что подобно влиянию никеля.

Магний, как и марганец, является формообразующим элементом и способствует отбеливанию чугуна.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом производят модифицированием жидкого чугуна малыми количествами магния или некими другими элементами. Особое использование в промышленности в качестве сфероидизирующей присадки в данное время получил чистый магний. Магний, внедренный в жидкий чугун, расплавляется и следом испаряется. Полученные пары магния, владея большой упругостью, проходят через жидкий чугун и образуют требуемые условия для кристаллизации графита в шаровидной форме. Определено, что полностью шаровидная форма графита в чугуне происходит только в том случае, если остаточное содержание магния не ниже 0,03–0,04% [24,25]. Обработка чугуна чистым магнием или модификаторами, содержащими магний, в большинстве случаев, сопровождается сильным пироэффектом и одновременно дымовыделением при контакте магния с воздухом. Основной причиной этого эффекта является низкая удельная плотность лигатуры, способствующая всплытию модификатора на поверхность. В результате, магний, имеющийся в лигатуре, не успевает прореагировать с компонентами жидкого чугуна. В целях борьбы с этим явлением был создан и изучен, наряду российских и зарубежных предприятий, технический процесс получения чугуна с шаровидным графитом при изготовлении отливок с

использованием модифицирующей диспергированной смеси. Сущность МДС-процесса заключается в обработке расплавленного чугуна измельченным до определенной фракции модификатором, основным компонентом которого является магний [26].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы и объекты исследования

Объектами и предметами исследования являются:

Отливки деталей 11183, 2110-1005020 «Вал коленчатый», из высокопрочного чугуна марки ВЧ65 (ПРИЛОЖЕНИЕ А), полученные по разработанной технологии ковшевого модифицирования «заливка сверху» с использованием «лёгкой» лигатуры ФСМг6Ла взамен технологии ковшевого модифицирования «тяжёлой» лигатурой Ni-Mg-Ce.

Определение химического состава:

Химический состав чугуна определяли с помощью спектроанализатора Quantovak ARL 2460. После заливки ковша и модифицирования расплава, была взята кокильная проба для проведения спектрального анализа состава чугуна.

Для марки ВЧ65 содержание химических элементов после модификации показано в таблице 1.

Таблица 1 – Базовый химический состав ВЧ65 (содержание элементов в массовых %).

Место отбора пробы	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mg
Ковш	3,66	2,79	0,76	0,019	0,007	0,068	0,15	0,61	0,050	0,074

2.2 Методы исследования

2.2.1 Метод спектрального анализа

Химический состав определяли на спектроанализаторе Quantovak ARL 2460(ГОСТ 27611-88) [27]. Проверяли соответствие химического состава маркам чугуна по ГОСТ 7293-85 [3].

Quantovak ARL 2460 (рисунок 7) – компактный стационарный оптический эмиссионный спектрометр (анализатор) для анализа химического состава металлов в лаборатории. Позволяет работать с любыми типами металлов и сплавов (до 36 элементов одним прибором).



Рисунок 7 – Оптико-эмиссионный спектрометр Quantovak ARL 2460

Анализатор состава сплавов Quantovak ARL 2460 является стационарными анализаторами для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах и точного определения элементного состава сплавов. Анализатор Quantovak ARL 2460 работает по методу эмиссионного оптического спектрального анализа с возбуждением пробы с помощью искры.

При проведении анализа аргон обтекает исследуемый объект, делая его более заметным для светового изучения. Спектрометр фиксирует интенсивность излучения, на основе чего анализирует состав металла. Для возбуждения разряда используется вольфрамовый электрод. Система вакуумного заполнения гарантирует оптимальную передачу светового сигнала в низком диапазоне ультрафиолетового излучения. Управление системой осуществляется высокоскоростным компьютером. Профилирование линий происходит автоматически. Современная техническая оснащённость прибора обеспечивает четкую воспроизводимость результатов.

2.2.2 Микроскопический анализ

Отдельные составляющие системы сплавов, представляющие собой зерна или кристаллиты, видимые в оптический микроскоп, называют микроструктурой. Исследование микроструктуры, определение ее качественных и количественных характеристик есть ни что иное, как микроскопический анализ сплавов. Свойства сплавов определяет его микроструктура. Поэтому анализ микроструктуры металлов и сплавов имеет огромное значение при разработке и контроле всех технологических операций, формирующих структуру и свойства сплава. Образцы для микроскопического анализа вырезают из заготовки, шлифуют, полируют и травят растворами кислот, после чего исследуют в оптический микроскоп.

Приготовление микрошлифов включает в себя:

- Внешний осмотр исследуемой заготовки;
- Разметка и нумерация на заготовке областей для получения образцов,
- Отрезка на отрезном станке образца под размер шлифа;
- Шлифование на вращающихся плоских дисках с шлифовальной бумагой разной шероховатости. При шлифовании поверхность диска обильно смачивается водой, и шлиф каждый раз поворачивают на 90° вокруг оси.

Затем промывают водой для удаления остатков абразивных частиц с поверхности;

- Полирование шлифа проводят на специальном сукне, с добавлением алмазной пасты. Полировка предполагает получение идеально гладкой поверхности образца. По окончании операции шлиф протирают этиловым спиртом с целью предотвращения окисления поверхности;
- Операцию травления производят для выявления границ зерен, то есть для получения изображения структуры сплава. После травления поверхность шлифа имеет сложный микрорельеф, который и характеризует строение металла. Например, графитные включения в чугунах лучше изучать на нетравленных шлифах, а структуру металлической основы – на травленных. Чугуны обычно травят 3...5%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Время реагирования от 10 до 20 секунд.

Металлографический анализ проводился на микроскопе UNIMET 8585 (рисунок 8) предназначенном для исследования, главным образом, непрозрачных металлов и заготовок или деталей в промышленности. Кроме того, с помощью такого микроскопа можно исследовать в проходящем свете тонкие образцы, так называемые тонкие срезы, если они достаточно прозрачны.



Рисунок 8 – Metallographic microscope UNIMET 8585

Микроскоп имеет компактные габаритные размеры, его длина 689 мм; ширина 245 мм. Микроскоп удобен в настройке и снабжен высококачественной оптикой. Исследования структуры можно проводить, используя различные методы контрастирования: в светлом и темном полях, в поляризованном и дифференциально-интерференционном излучениях.

Отличительным качеством инвертированной модели является ее объективов микроскопа расположении под предметным столиком, что позволяет исследовать шлифы без ограничения их размеров. Микроскоп снабжен цифровой видеокамерой, позволяющей фиксировать и сохранять изображения, устанавливать программное обеспечение для анализа микроструктур.

Технические характеристики:

- Модульная конструкция
- Окуляры 10×/23; 16х/16 - для работающих в очках фокусируемые
- Максимальное линейное поле зрения 23 мм
- Осветитель отраженного света: галогенный 35Вт или 100Вт, ртутный НВО 50 или НВО 100
- Револьверное устройство крепления: 5 объективов (резьба объективная 0,8Н) только для объективов светлого поля или 4 объективов (резьба М27 HD)
- Объективы Eriplan или Eriplan-Neofluar с увеличениями 5×, 10×, 20×, 50× и 100×, а также объективы с большим рабочим расстоянием (LD).
- Бинокулярная насадка
- Фронтальный видеовыход
- Окуляры: W-P1 10× с линейным полем 23 мм
- Слайдер для крепления 3 светоделительных модулей
- Предметный столик: механический 30х30 мм ; поворотный 30×30/90°

2.2.3 Определение твердости

Твердость определяем методом Бринелля. Стационарный твердомер НВ-3000В (рисунок 9) – удобный и надежный прибор для определения твердости металлов по методу Бринелля с электронным реверсивным переключателем приложения, удержания и снятия испытательной нагрузки и с цифровым отсчетом времени ее приложения.

Стационарный твердомер Бринелля НВ-3000В – это простой в использовании измеритель твердости с высокой точностью, широким диапазоном измерений и большой повторяемостью результатов.

Прибор представляет собой стационарные средства измерений, состоящее из устройства приложения нагрузки и измерительного блока.

Принцип действия прибора основан на статическом вдавливании стального шарикового наконечника с последующим измерением диаметра окружности отпечатка.

Стационарный твердомер по методу Бринелля НВ-3000В используется при замерах значений твердости незакаленных сталей, чугуна, цветных металлов, мягких сплавов и др. Твердомер НВ-3000В по Бринеллю может использоваться на производстве, в научно-исследовательских проектах и других секторах промышленно-производственного и исследовательского комплекса.

Базовый комплект поставки твердомера НВ-3000В:

- Твердомер НВ-3000В
- Большая плоская наковальня
- Малая плоская наковальня
- V-образная наковальня
- Стальной шариковый индентер (диаметр 2.5, 5, 10 мм)
- Стандартный блок по Бринеллю (2 шт.)
- 20-кратный считывающий микроскоп.



Рисунок 9 – Твердомер HB-3000B [5]

Таблица 2 - Технические характеристики стационарного твердомера HB-3000B.

Твердомер HB-3000B	
Испытательные нагрузки	1839 Н (187,5 кг) 2452 Н (250 кг) 7355 Н (750 кг) 9807 Н (1000 кг) 29420 Н (3000 кг)
Диаметр шарика индентера	×2.5 мм, ×5 мм, ×10 мм
Диапазон измерений	8 – 450 HBS, 8 – 650 HBW
Горизонтальное пространство измерений	максимально 120 мм
Вертикальное пространство измерений	максимально 230 мм
Электропитание	220В/ 110 В, 50 – 60 Гц, 2 А
Габаритные размеры	700 × 268 × 842 мм
Масса	210 кг

2.2.4 Испытания на разрыв

Предел прочности и относительное удлинение (σ_b и $\delta\%$) определялись на разрывной машине AMSLER 20ZBDA(ГОСТ 7293-85) [3] методом одноосного растяжения на разрыв. Форма и размеры испытуемых образцов приведена на рисунке 10. Образцы изготавливали в соответствии с ГОСТ 1497-84 [28].

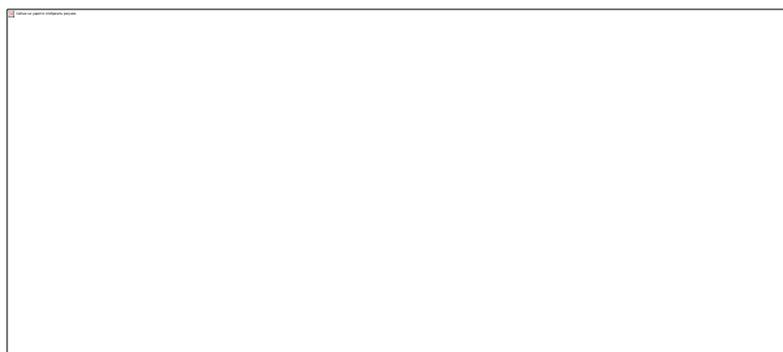


Рисунок 10 – Размеры образца для испытаний на растяжение

Настольная система для усталостных испытаний модели AMSLER 20ZBDA (рисунок 11) идеально подходит для усталостных и статических испытаний материалов, материалов с улучшенными свойствами и изготовленных компонентов. Основание с Т-слотом позволяет надежно закрепляет образцы, автомобильные компоненты и сборные элементы.



Рисунок 11 – Испытательная машина AMSLER 20ZBDA

Эта система имеет улучшенные функции цифрового контроллера и запатентованный датчиком Instron Dynacell компакт.

Программное обеспечение Console позволяет полностью управлять системой от ПК: создает формы колебаний, обеспечивает калибровку, настройку предела и отслеживание состояния. Программное обеспечение Bluehill предназначено для статических испытаний.

AMSLER 20ZBDA – это сервогидравлическая машина для выполнения испытаний на усталость и одноостное растяжение до разрыва.

Рабочий диапазон:

- Нагрузка: 25 кН до 2 Н
- Скорость: от 0,005 до 60000 мм / мин
- Температура: от -70 до +250 °С
- Характеристики:
- Осевая сила до ± 25 кН (5620 фунтов силы)
- Диапазон частот от 0,1 до 80 Гц
- Максимальный ход привода ± 50 мм
- Регулирование режима: объем или динамическая сила в сочетании со статическими нагрузками (усилия или смещения)
- Запатентованная технология датчика нагрузки Dynacell, компенсирующая инерционные нагрузки, вызванные тяжелыми захватами и приспособлениями
- Изменяемое по высоте рабочее пространство

3. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Профессиональная деятельность человека связана с применением оборудования вызывающего различной степени появления возможных рисков. По природе возникновения риски могут быть классифицированы как профессиональные, техногенные, экологические. В качестве профессиональных рассматриваются риски травмирования человека, возникновения профессиональных заболеваний, вызывающих снижение работоспособности, нарушение его здоровья и снижение производительности труда. При рассмотрении техногенных рисков речь может идти об отказах оборудования, неправильной эксплуатации оборудования, промышленных зданий и сооружений, возникновениях пожаров, аварийных и чрезвычайных ситуаций.

К экологическим рискам можно отнести образующиеся негативные факторы воздействия технического объекта на окружающую среду: токсические и/или радиоактивные выбросы в атмосферу, образование загрязненных сточных вод, опасных загрязняющих газообразных, жидких или твердых материалов отходов производства, вынужденную выемку грунтовых покрытий, нарушение и загрязнение растительного и почвенного покрова и т.д.

Своевременная идентификация профессиональных рисков, определение степени возникновения производственно-технологического инцидента на производстве, и/или транспортировке продукции, и/или эксплуатации уже произведенного технического объекта – требуют разработки эффективных, технически обоснованных методов и технических средств снижения (исключения) профессиональных рисков, что в конечном итоге, позволяет предупредить негативные последствия возникновения рисков, исключить производственные травмы и профессиональные заболевания.

При выполнении выпускной квалификационной работы актуальны решения вопросов обеспечения безопасности проектируемого технического объекта в процессе его дальнейшей эксплуатации. Это же относится и к безопасному функционированию инженерно-технического и технологического

оборудования, осуществлению технологического процесса (технологических операций), функционированию технического устройства как, с точки зрения, исключения (уменьшения) негативного воздействия техногенных факторов на человека, так и на среду (рабочую и окружающую).

Технологические процессы изготовления отливок характеризуются большим числом операций, при выполнении которых выделяются пыль, аэрозоли и газы. Пыль, основной составляющей которой в литейных цехах является кремнезём, образуется при приготовлении и регенерации формовочных и стержневых смесей, плавке литейных сплавов в различных плавильных агрегатах, выпуске жидкого металла из печи, внепечной обработке его и заливке в формы, на участке выбивки отливок, в процессе обрубки и очистки литья, при подготовке и транспортировке исходных сыпучих материалов.

В воздушной среде литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах находятся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами железа и марганца, пары углеводородов и др. Источниками загрязнений являются плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушила для форм, стержней и ковшей и т.п.

Одним из критериев опасности является оценка уровня запахов. На атмосферный воздух приходится более 70 % всех вредных воздействий литейного производства [29].

Цели данной работы включают в себя следующие пункты:

1. Разработать необходимые правила безопасной работы с оборудованием, на котором необходимо выполнять эксперименты;
2. Выявить основные вредные факторы и вещества, с которыми придется работать, а также способы защиты от их воздействия;
3. Рассчитать оптимальные условия освещения для комфортной работы;
4. Рассмотреть пожарную защищенность кабинета.

3.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика чугунолитейного производства ОАО «АВТОВАЗ»

Основные технологические этапы создания «Вала коленчатого» из модифицированного чугуна включают в себя:

1. Шихтовка – закладывают шихту в бадьи и загружают в печь
2. Плавка чугуна – чугун плавят сначала в одной печи, затем в другой с доводкой по химическому составу
3. Ковшовое модифицирование – расплавленный чугун с проверенным химическим составом разливают по ковшам с модификатором, после чего берут клиновую пробу (качественный анализ модифицирования) и кокильную пробу для анализа химического состава
4. Заливка формы – после взятие клиновой пробы и завершения процесса модифицирования, из чугуна получают отливку («Вал коленчатый»), вырезка которого будет являться образцом для механических испытаний
5. Обдирка – отливки зачищают шлифовальными кругами с целью удаления заливок, заусенцев и неровностей с поверхности, а также удаления дефектов поверхности (пригара, мест заварки и др.).
6. Нормализация – производится при температуре 850-900°C с целью получения отливок повышенной прочности и износостойкости, т. е. получения отливок со структурой перлита.

Таблица 3 – Технологический паспорт чугунолитейного производства ОАО «АВТОВАЗ»

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция	Наименование должности работника, выполняющего технологическую операцию	Оборудование	Материалы
1	Шихтовка	Загрузка шихты в бадьи	Загрузчик шихты	Мостовой кран	Шихта
2	Плавка чугуна	Дуплекс-процесс	Загрузчик - выгрузчик вагранок и печей	Дуговые и индукционные печи	Расплав чугуна
3	Модифицирование	Ковшовое модифицирование	Литейщик металлов и сплавов	Погрузчик, литейный ковш	Fe-Si-Mg лигатура, расплав чугуна
4	Заливка формы	Заливка формы «Вала коленчатого»	Литейщик металлов и сплавов	Подгрузчик, ковш, литейная форма	Модифицированный расплав чугуна
5	Обдирка	Удаление дефектов с отливки	Шлифовщик	Шлифовальный станок	Шлифовальные круги
6	Нормализация	Нагрев отливки до 850-900°C	Литейщик металлов и сплавов	Камерная печь	Расплав чугуна

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 4 – Идентификация профессиональных рисков.

№ п/п	Производственно-технологическая операция	Вредный производственный фактор	Источник производственного фактора
1	Загрузка шихты в бадьи	Высокая загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны, высокий уровень шума на рабочем месте	Шихтовые материалы (стружка, лом, возврат собственного производства)
2	Дуплекс-процесс	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Расплав чугуна в печи, переливка между печами и разливка по ковшам
3	Модифицирование	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенная яркость света	Модифицированный расплав чугуна
4	Заливка формы	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенная яркость света, повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Ковш с расплавом чугуна
5	Обдирка	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Шлифовальный станок
6	Нормализация	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, повышенная температура поверхностей	Камерная печь

		оборудования и материалов	
--	--	---------------------------	--

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5 – Организационно-технические методы и технические средства снижения негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Вредный производственный фактор	Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Рукавный фильтр, прямоточные мокрые пылеуловители, мокрый абсорбер, гидрофильтры, вытяжная вентиляция	Противоаэрозольное средство индивидуальной защиты органов дыхания
2	Повышенная температура воздуха рабочей зоны	Система вентиляции, помещения для отдыха, система местного кондиционирования	Термофляги с прохладной водой
3	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Разметка опасных и безопасных зон на производстве	Огнеупорная спец.одежда, рукавицы
4	Повышенная яркость света	Инструктаж по охране труда	Защитные очки
5	Повышенный уровень шума на рабочем месте	Шумоизолированные комнаты	Беруши, наушники.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Чугунолитейное производство ОАО «АВТОВАЗ»	Разливочный ковш	D	Повышенная температура окружающей среды	Опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара

Таблица 7 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизованный и немеханизованный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Пожарный инвентарь	Пожарные автомобили	Установка пожаротушения с помощью сухих флюсов	Пожарные извещатели	Ручные пожарные извещатели	Эвакуационные пути и место эвакуации при ЧП	Лопаты, ломы, электрические ножницы	Автоматическая пожарная сигнализация

Таблица 8 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Литье чугуна, ковшевое модифицирование	Инструктаж работников требованиям ПБ, соблюдение техники безопасности, наличие средств оповещения о пожаре и пожаротушения	Наличие систем пожаротушения, обнаружения, оповещения и эвакуации в случае пожара, квалифицированный персонал

3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Таблица 9 – Идентификация негативных экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственного-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственного-технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологических операций, технического оборудования), энергетической установки, транспортного средства и т.п.	Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу (выбросы в воздушную окружающую среду)	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра, образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Плавильный участок	Плавильные печи	Отход газов при плавке чугуна		
Ковшовое модифицирование	Погрузчик, ковш для чугуна	Интенсивный отход газов при заливке расплава		
Очистка газа	Мокрые абсорберы, гидрофилтры		Взвешенные частицы металлов	
Гидрошламоудаление	Шламопровод			Отравление почвы тяжелыми металлами

Таблица 10 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Чугунолитейное производство ОАО «АВТОВАЗ»
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Использование вытяжной вентиляции во время модифицирования расплава чугуна магнием, использование систем вентиляции и фильтров
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Использование сорбентов для очистки сточных вод, отстойников для осаждения крупных частиц, коагуляторов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Утилизация и переработка шлама, передача побочных продуктов (оксиды и диоксиды) другим производствам, лабораториям, организациям

3.6 Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта»

Составлен технологический паспорт цеха, где отражены основные технологические процессы и используемые материалы.

Идентифицированы профессиональные риски рабочих, выполняющие технологические операции по получению опытных отливок.

Предложены методы и средства снижения вредных и опасных производственных факторов.

Идентифицированы класс и опасные факторы пожара, предложены технические средства и организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Проанализированы негативные экологические факторы и предложены мероприятия по снижению антропогенного воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Расчет скорости подачи расплава в ковш

Исходя из анализа различных способов модифицирования, приведенным в главе 1, а также учитывая техническую оснащенностью цехов чугунолитейного производства ОАО «АВТОВАЗ», было принято решение о разработке технологического процесса ковшевого модифицирования высокопрочного чугуна способом «заливки сверху». Данный способ позволяет использовать заливочные ковши меньшего объема и более простой конструкции по сравнению с «сэндвич-процессом».

Заполнение ковша расплавом по технологии «заливка сверху», в случае использования «лёгкого» модификатора, скорость движения расплава чугуна из печи ожидания в ковш должен соответствовать числу Рейнольдса от 3000 до 6000. Технология «заливка сверху» более чувствительна к режиму движения расплава в ковше, чем «сэндвич-процесс», так как во втором варианте технологии модификатор засыпают покровным материалом.

Число Рейнольдса определяет математический закон:

$$Re = \frac{\vartheta D_{\text{ЭКВ}}}{\nu},$$

«где Re – число Рейнольдса; ϑ – средняя скорость потока жидкости, м/с; $D_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр трубопровода, м; ν – кинематическая вязкость жидкости при рабочей температуре, м²/с, время заполнения ковша жидким чугуном может быть оценено из выражения:

$$t_k = \frac{V_k D_{\text{ЭКВ}}^H}{S_q \nu_q Re},$$

где t_k – время заполнения ковша расплавом чугуна, с; V_k – объём ковша, м³; $D_{\text{ЭКВ}}^H$ – эквивалентный диаметр носка печи, м; ν_q – кинематическая вязкость расплава чугуна при температуре заливки, м²/с; S_q – живое сечение потока чугуна, м²; Re – число Рейнольдса.

«Следовательно, время заполнения ковша обратно пропорционально числу Рейнольдса и должно укладываться в рекомендуемый диапазон» [30].

Расчитаем оптимальное время заполнения ковша в соответствии с указанным диапазоном чисел Рейнольдса, при котором достигается максимальное усвоение магния в процессе модифицирования.

Емкость ковша считаем исходя из его размеров – $0,17 \text{ м}^3$.

Площадь сечения потока жидкого расплава равно $0,0176 \text{ м}^2$, величина сечения определяем как $2/3$ от сечения носка печи:

$$F = \frac{2 \pi d^2}{12} = 0,01706 \text{ м}^2 ,$$

где d – диаметр носка печи равный $0,367 \text{ м}$. Кинематическая вязкость расплава известна и составляет $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Подставим эти величины в математическое выражение, определяющее время заполнения и расчитаем нижний и верхний пределы, согласно диапазону $Re=3000 \div 6000$.

Оптимальное время заполнения ковша составляет от 30 до 60 секунд.

В технологи «заливка сверху» модификатор укладывают в ковш без покровной засыпки, поэтому реакция с расплавом начинается сразу с началом контактирования жидкого чугуна и лигатуры. В связи с чем, навеска модификатора при заливке «сверху» должна быть больше по сравнению с величиной навески, определенной для «сэндвич»-процесса.

Согласно серийной технологии изготовления отливок коленчатых валов из высокопрочного чугуна марки ВЧ65 с использованием «сэндвич-процесса» и никелевой лигатуры, для модифицирования в ковше необходимо $5,4 \text{ кг}$ лигатуры Ni-Mg-Ce и 3 кг ферросилиция ФС75. Вторичное модифицирование проводят в литниковой чаше, для чего укладывается кусок ферросилиция ФС75 массой $150 \dots 200 \text{ г}$ или брикет ферросилиция ФС65Ба1 массой $170 \dots 220 \text{ г}$.

Применение безникелевого модификатора в технологии «заливка сверху» предполагает ориентировочный расход модификатора порядка 2% от общего веса, т.е. 22 кг на 1100 кг расплава.

В ходе апробации технологического процесса модификации и получение опытной отливок, было определено, что количество модификатора составляет 20 кг на 1100 ± 20 кг расплава чугуна, или 1,8% от общего веса расплава.

4.2 Исследование опытной партии отливок деталей из высоких марок ВЧШГ способом «заливка сверху» с использованием легкой лигатуры ФСМг6ЛА

Для отработки технологии модифицирования высокопрочного чугуна ВЧ65 способом «заливка сверху» была изготовлена опытная партия отливок деталей 11183-1005020 «Вал коленчатый». Заливка партии опытных отливок была произведена в объёме одного ковша (32 шт.) на чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ»

Из первой и второй опытной партии отливок деталей на исследование из залитого ковша были представлены 2 отливки, отобранные из первой и последней форм залитого ковша. Вторичное модифицирование проводили в заливочной чаше формы куском ФС75. Ковшовой расход модификатора ФСМг6Ла для получения отливок деталей «Вал коленчатый» из высокопрочного чугуна марок ВЧ65 – 1,8% (18 кг на ковш металлоёмкостью 1000 кг и 20 кг модификатора на 1100 кг расплава чугуна).

Регламентируемый химический состав модификатора ФСМг6Ла:

Mg 5,55-6,15%; Ca 0,8-1,2%; La 0,35-0,55%; Si 44-48%; Al 0,4-1,0; Fe – остальное. Фракционный состав: 4-32 мм.

Для достижения требуемых механических свойств и структуры чугуна при их возможном снижении в отсутствие никеля, учитывая конструктивные особенности и габариты получаемых отливок, необходимо было провести дополнительное микролегирование медью, марганцем, либо обоими этими элементами. Доводка расплава чугуна по марганцу и меди производилась в ковше.

Корректировка химического состава по кремнию, марганцу и меди была проведена из следующих соображений:

1. Сильно завышенный коэффициент запаса прочности для детали «Вал коленчатый» порядка 4, прописанный в технической документации, позволят снизить количество упрочняющих элементов Mn и Cu.
2. Необходимо учитывать взаимное соотношение таких элементов как Si, Cu и Mn, так как их влияние на процессы формирования структуры имеет различную направленность, а их цена определяет себестоимость отливки.
3. Химический состав чугуна должен соответствовать нормативной документации.

Содержание таких элементов как кремний, марганец и медь оказывает большое влияние на формирование микроструктуры. Как указывалось, в литературном обзоре, кремний способствует графитизации чугуна, но повышает содержание феррита в металлической основе. Марганец, наоборот, способствует снижению количества феррита, измельчает перлит, но тормозит выделение графитных включений, что может повлечь за собой отбеливание чугуна. Таким образом, количество кремния и марганца в чугуне должно быть ограничено, а их взаимное соотношение должно соответствовать определенным пропорциям. Медь, в отличие от марганца способствует и графитизации и уменьшению количества феррита, но усложняет образование глобулярной формы графитных включений. Медь не снижает ударную вязкость как марганец, она значительно дешевле никеля, но является более дорогостоящим легирующим элементом, чем марганец. Поэтому, содержание марганца и меди в составе чугуна должно отвечать оптимальному количественному соотношению, которое обеспечит формирование необходимой структуры чугуна без увеличения себестоимости сплава.

Результаты исследования качества чугуна по химическому составу в отливках приведены в таблице 11.

Таблица 11- Печной и ковшевой химический состав чугуна ВЧ65.

Место отбора пробы	Химический состав, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mg
Печь	3,75	1,52	0,33	0,018	0,008	0,054	0,07	0,19	0,019	-
Ковш	3,68	2,17	0,54	0,020	0,009	0,057	0,08	0,52	0,019	0,050

Анализ химического состава чугуна в печи и ковше показал дальнейшее снижение содержания никеля в базовом химическом составе, и его фактическое содержание $\approx 0,1\%$. При такой достаточно низкой концентрации, никель уже не является микролегирующей добавкой, влияющей на структурообразование и механические свойства чугуна, а примесью, поэтому его содержанием можно пренебречь и отказаться от использования такого параметра как «сумма никеля с медью».

Содержание кремния снизилось на 0,6% от базового, содержание Mn на 0,22%, меди на 0,09%.

Механические свойства чугуна в отливках представлены в таблице 12. Образцы для испытания на разрыв вырезались от хвостовика противовеса отливки. Твердость по Бринеллю определялась на образцах, вырезанных из хвостовика и фланца отливки.

Таблица 12 – Механические свойства отливок из чугуна ВЧ65

№ плавки	№ образца	HB _{5/750/10}	σ_B^* , МПа	δ^* , %
896	056-09-01(хвостовик)	272	820	7,2
	056-09-01(фланец)	239-244		
	056-09-02(хвостовик)	272	800	7,2
	056-09-02(фланец)	260-272		
По нормам FIAT- ВАЗ для марки Gh65-48-05		190-280	>650	>5

Согласно экспериментальным данным, все механические свойства: прочность, твердость и пластичность соответствуют техническим требованиям по нормали FIAT-BA3 для марки ВЧ65.

Далее проводили исследования микроструктуры отливок на степень сфероидизации графитных включений, тип распределения графита в металлической основе и определяли структуру металлической основы.

В качестве образцов для исследований взяты шатунные и коренные шейки коленчатого вала с примыкающими частями щёк.

Степень сфероидизации графита определяли согласно стандарту предприятия СТП 37.101.9808-2006 [31] путем сравнения со шкалами.

При сравнении микроструктуры отливок деталей «Вал коленчатый» со шкалой сфероидизации графита было определено, что во всех отливках сфероидизация графита не менее 90%.

Распределение графитных включений оценивали согласно ГОСТ 3443-87 [32]. Был обнаружен сфероидальный графит типа А и В, который обозначает равномерное и розеточное распределение графита в эталонных шкалах стандарта ИСО 945-75.

Возможные варианты распределение графита и их условное обозначение указаны в таблице 13.

Таблица 13 – Соответствие обозначений эталонов для оценки распределения графита в шкалах ГОСТ 3443-87 и стандарта ИСО 945-75

Распределение графита	Обозначение эталона в ГОСТ 3443-87	Обозначение эталона в стандарте ИСО 945-75
Равномерное	ПГр1	А
Неравномерное	ПГр2	С
Розеточное	ПГр7	В
Междендритное точечное	ПГр8	Д
Междендритное пластинчатое	ПГр9	Е

Результаты металлографического анализа представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты исследования микроструктуры отливок.

№ образца	Микроструктура по нормали 52215
056-09-01(хвостовик)	Графит шаровидный типа ОА, ОВ № 6,7; степень сфероидизации графита 90%; металлическая основа-перлитно-ферритная (92x8%)
056-09-01(фланец)	Графит шаровидный типа ОА, ОВ № 6; степень сфероидизации графита 90%; металлическая основа-перлитно-ферритная (92x8%)
056-09-02(хвостовик)	Графит шаровидный типа ОА, ОВ № 6,7; степень сфероидизации графита 90%; металлическая основа-перлитно-ферритная (85x15%)
056-09-02(фланец)	Графит шаровидный типа ОА, ОВ № 6; степень сфероидизации графита 90%; металлическая основа-перлитно-ферритная (92x8%)
По нормали FIAT-BA3 для марки Gh65-48-05	Графит шаровидный ОА, ОВ; степень сфероидизации не менее 90%; металлическая основа-перлитно-ферритная

Анализ результатов микроскопических исследований показывает, что микроструктура отливок 11183-1005020 «Вал коленчатый», изготовленных из высокопрочного чугуна марки ВЧ65 без нормализации, соответствует нормали FIAT-BA3 52215 по степени графитизации, сфероидизации и распределению графита. Структура металлической основы перлитно-ферритная. Количество феррита в металлической основе отливок не превышает 15 %, что так же соответствует техническим требованиям, предъявляемым к микроструктуре ВЧ65.

После изготовления отливки деталей «Вал коленчатый» по технологии направляют на обработку по линии разъёма для зачистки заусенцев, остатков питателей, прибылей и промывников.

4.3. Исследование возможности исключения операции нормализации при изготовлении деталей «Вал коленчатый»

По действующей технологии отливки из высокопрочного чугуна модифицированного никельсодержащей лигатурой направляются на механическую обработку - обдирку и шлифовку, а затем подвергаются термической обработке – нормализации. Нормализация устраняет локальное повышение твердости в поверхностном слое торцев «Вала коленчатого», возникающее из-за образования в них зоны бесструктурного мартенсита при обдирке от засаленных поверхностей шлифовальных кругов. Кроме того, нормализация устраняет возможный отбел и способствует перлитизации металлической основы. Данная термическая обработка разбивает феррит на более мелкие зерна, способствуя устранению ферритной оболочки вокруг графитных включений, называемой «бычьим глазом». Благодаря чему позволяет повысить предел прочности до необходимой величины, прописанной в технической документации, а именно более 750МПа.

Расчет допустимых напряжений в конструкции вала предусматривает коэффициент запаса прочности порядка 4. В соответствии с конструкторской документации при статическом нагружении коэффициент запаса прочности щеки вала составляет 3,97 или 4,07.

Данная величина коэффициент запаса прочности сильно завышена. В связи с чем, существует возможность использования высокопрочного чугуна для изготовления деталей «Вал коленчатый» с более низкими показателями прочностных свойств, а значит, и исключить операцию термической обработки с целью удешевления конечного продукта. Прочность металла отливок в исходном состоянии соответствует марки ВЧ65. Расчётные допустимые напряжения при коэффициенте запаса прочности равным 4, составят 184Мпа. В случае использования марки ВЧ 65, тот же уровень допустимых напряжений в конструкции вала будет соответствовать коэффициенту запаса прочности 3,53. Что вполне достаточно для надежной работы вала.

Однако исключить операцию нормализации возможно только в случае обеспечения бесприжоговой обдирки торцев коленвала для сохранения обрабатываемости детали резанием.

Для решения указанной задачи была исследована зависимость глубины и твёрдости прижога от периодичности правки шлифовальных кругов 14А 125 СТ2 4Б, используемых в действующей технологии. Правка шлифовальных кругов от засаленных поверхностей проводилась алмазным карандашом. В результате определена оптимальная периодичность правки, которая составляет 100-150 деталей. Динамика изменения характеристик поверхностного слоя детали после шлифовки представлена в таблице 15.

Таблица 15 - Изменение характеристик поверхностного слоя при обдирке торца коленвала кругом 14А 125 СТ2 4Б.

№ образца	Количество деталей, обработанных после правки	Глубина прижога, мкм	Микротвёрдость зоны прижога, HV 0,5
1	1	0...3	
2	100	2...20	
3	200	200	761...793
4	300	190	766...797

Микроструктура прижогового слоя изображена на рисунках 12,13. На микрофотографиях четко просматривается бесструктурный мартенсит в поверхностном слое, который выглядит как белая полоса.

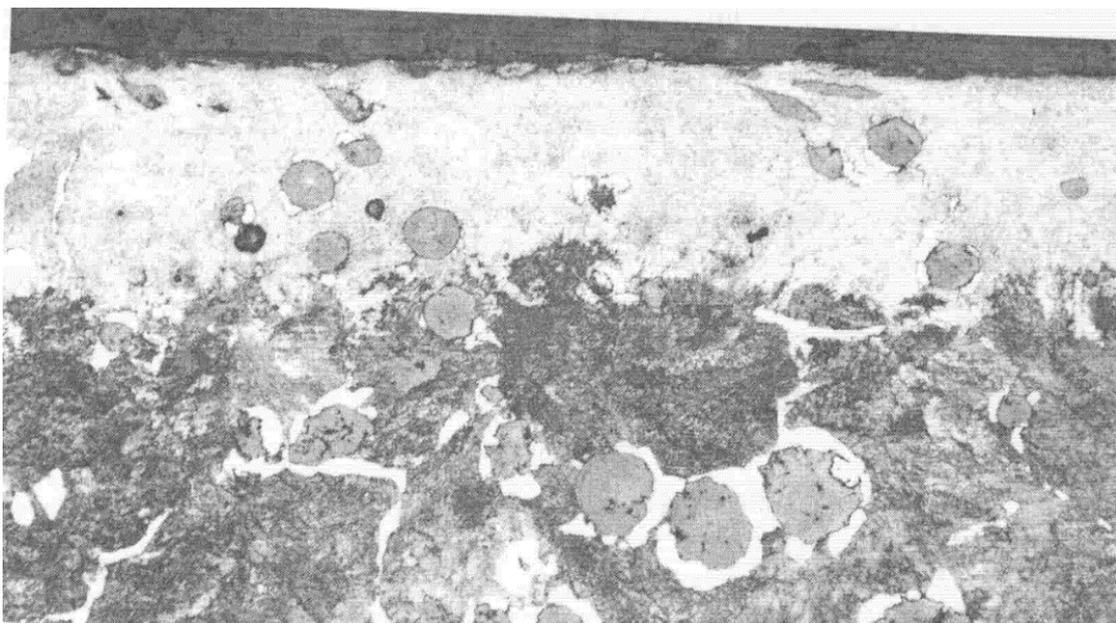


Рисунок 12 – Прижог на обр.№3. (x200)

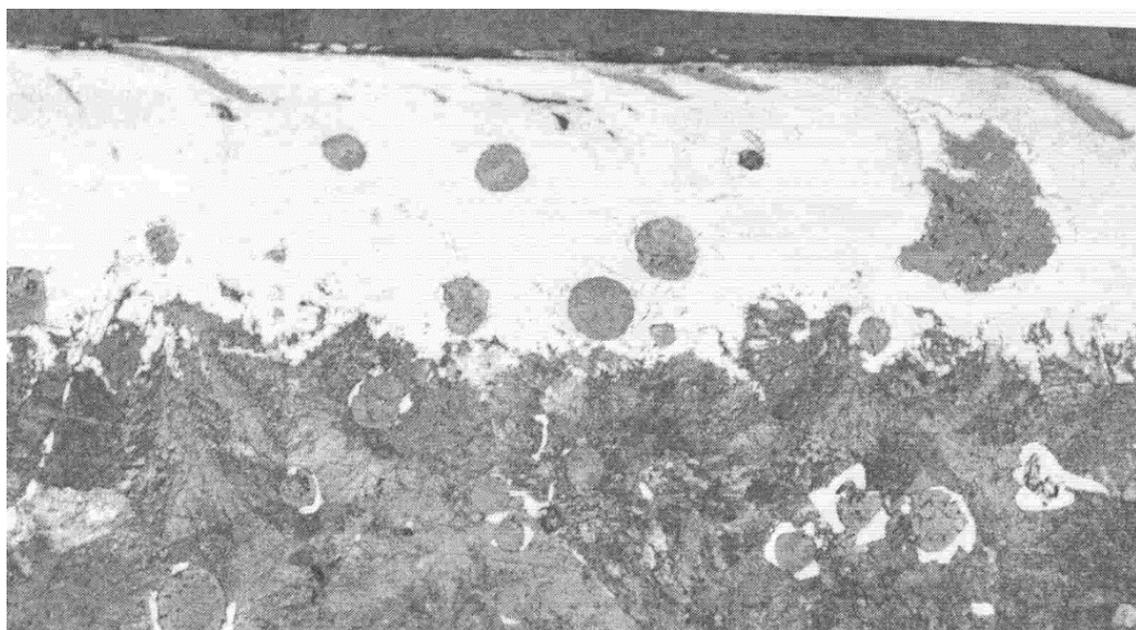


Рисунок 13 – Прижог на обр.№4. (x200)

Теоретически существует возможность обеспечить бесприжоговое шлифование в режиме самозатачивания (без правки) за счет изменения характеристик шлифовального круга. Для исследований данного характера были получены новые инструменты: шлифовальные круги с характеристиками 24А 160 СТ2 6Б «ЗАЗ» и 24А/54С 160 СТ2 6Б «ЗАЗ». В результате испытаний получено повышение стойкости между правками до 200-250 деталей. Так после обработке 220 деталей прижог не выявлен, после обработки 1050 деталей

выявлен прижог глубиной 0,5мм при обработке вала коленчатого из чугуна ВЧ75.

Использование смесового круга (24А/54С) обеспечивает по сравнению с исходным вариантом двукратное повышение стойкости круга между правками и повышение стойкости круга в 3,5 раза.

Однако, как показали испытания, опытные шлифовальные круги не смотря на повышение стойкости между правками не могут удовлетворить требования технологии обработки вала коленчатого 11183-1005020 без прижогов поверхности и засаливания рабочей части круга. Поэтому считаем, что операция нормализации исключить из технологического процесса изготовления детали вал коленчатый не возможно.

Направления дальнейшей разработки данного вопроса состоят в оценке стойкости инструмента модернизации роторно-обдирочного оборудования и введения операции правки кругов в технологический процесс.

Для оценки стойкости инструмента необходима обработка более крупной партии не менее 2000 шт.

На данный момент выполнена модернизация роторного обдирочно-шлифовального полуавтомата «Кунц»: смонтировано устройство для автоматической правки кругов с механизированным приводом. Кроме того, необходимо продолжить подбор инструмента и режимов обработки, обеспечивающие бесприжоговое шлифование.

4.4. Отработка технологического процесса модифицирования отливок деталей высоких марок ВЧШГ ковшевым модифицированием по технологии «заливка сверху» с использованием легкой лигатуры ФСМг6ЛА

Для набора статистических данных и уточнения технологических параметров процесса модифицирования была изготовлена вторая опытная партия отливок деталей 11183-1005020 «Вал коленчатый» из чугуна ВЧ65.

Проведены исследования химического состава и механических свойств чугуны в литом состоянии. Далее отливки второй опытной партии прошли все технологические операции по действующему технологическому режиму изготовления, т.е. были выполнены обдирка по линии разъёма и торцевание, нормализация, обработка резанием и закалка ТВЧ шеек. При обработке опытной партии коленчатых валов отклонений не выявлено.

Геометрия деталей опытной партии соответствует требованиям.

1. Для контроля качества металла отливок по химическому составу, механическим свойствам и микроструктуре было представлено по 26 образцов. Широкий набор экспериментальных данных позволил окончательно уточнить содержание основных модифицирующих элементов в составе чугуна, обеспечивающих стабильное формирование структуры и свойств, соответствующих техническим требованиям. Оптимальному ковшевому химическому составу чугуна соответствуют следующее содержание основных микролегирующих элементов: кремния 2,2-2,4%, марганца 0,62-0,72% и меди 0,58-0,65%, без учёта фактического содержания никеля в расплаве чугуна (ввиду его реального содержания менее 0,1%).

Образцы для механических испытаний вырезаны из двух частей коленчатого вала – из противовеса у хвостовика и из противовеса у фланца крепления маховика. Исследованы следующие параметры – временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и твёрдость по Бринеллю в литом и нормализованном состоянии.

Результаты механических испытаний приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Механические свойства отливок из высокопрочного чугуна ВЧ65 скорректированного химического состава (без нормализации).

Номер вала и требования	Место отбора образцов	σ_B , (Мпа)	δ_5 , %	НВ
1	Противовес у хвостовика	840	10,8	246;245
	Противовес у фланца	790	8,0	266;267
2	Противовес у хвостовика	840	-	250;250
	Противовес у фланца	800	10,3	269;270
Нормаль Fiat-BA3 52215		≥ 637	≥ 5	190-280

По результатам проведённых исследований было установлено, что механические свойства образцов изготовленных из деталей Вал коленчатый 11183-1005016 в литом состоянии, соответствуют требованиям, предъявляемым к материалу коленчатых валов производимым по действующей технологии.

Результаты исследований химического состава отливок второй опытной плавки ВЧ65, механических свойств и микроструктуры деталей после нормализации сведены в общую таблицу 17.

Установлено, что оптимизированный химический состав чугуна гарантирует получение микроструктуры и свойств чугуна ВЧ65 соответствующих требованиям НД в литом состоянии и ВЧ75 в нормализованном состоянии. Более того, анализ результатов механических испытаний показал, что данный состав чугуна позволяет получать в нормализованном состоянии более высокие марки чугуна: ВЧ80 и даже ВЧ100.

Таблица 17 - 11183, 2110-1005020 «Вал коленчатый» (18/20 кг ФСМг6Ла на ковш металлоёмкостью 1000/1100 кг)

№№ плавки/ проток.	Химический состав чугуна в ковше, %										Механические свойства			Микроструктура			T _н , °C
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mg	HB	σ _в , МПа	δ, %	ССГ, %	Φ, %	Ц, %	
182/17	3,73	2,23	0,62	0,023	0,009	0,050	0,10	0,59	0,014	0,050	266-298	980	10	90	1-2	< 1	880
295/22	3,70	2,25	0,66	0,019	0,008	0,050	0,17	0,62	0,017	0,050	285	950	6,4	90	3-1	< 1	860
393/29	3,66	2,24	0,62	0,018	0,006	0,068	0,08	0,55	0,018	0,059	272-298	960	8	90	1-5	~ 1	850
442/35	3,57	2,37	0,74	0,019	0,007	0,054	0,13	0,53	0,014	0,052	285	930	8	90	5	~ 1	840
443/36	3,63	2,30	0,75	0,018	0,007	0,050	0,11	0,59	0,017	0,050	285	920	7,2	90	2	< 1	840
452/39	3,60	2,27	0,69	0,018	0,006	0,045	0,09	0,54	0,011	0,057	285	930	8	90	8	< 1	860
457/41	3,60	2,33	0,68	0,020	0,008	0,050	0,20	0,58	0,013	0,056	285	930	8	90	5	< 1	840
457/43	3,53	2,50	0,68	0,016	0,005	0,053	0,18	0,55	0,012	0,043	285	970	8	90	3	< 1	840
459/45	3,66	2,20	0,64	0,017	0,008	0,045	0,10	0,55	0,012	0,051	285	950	7,2	90	2	< 1	840
487/47	3,56	2,30	0,71	0,022	0,008	0,049	0,10	0,57	0,015	0,050	298	960	6,8	90	8	< 1	850
490/49	3,69	2,24	0,70	0,017	0,006	0,047	0,09	0,56	0,013	0,060	298	970	8	90	5	< 1	850
494/51	3,61	2,05	0,60	0,020	0,008	0,051	0,11	0,52	0,019	0,050	292-298	950	7,2	90	8	~ 1	850
502/53	3,60	2,30	0,66	0,019	0,008	0,065	0,10	0,59	0,016	0,050	285	950	8	90	1	~ 1	850
616/60	3,70	2,23	0,64	0,021	0,006	0,063	0,12	0,53	0,020	0,060	285	940	8	90	8	< 1	850
625/62	3,66	2,40	0,61	0,019	0,008	0,056	0,11	0,59	0,013	0,059	285	960	8	90	2	< 1	850
627/64*	3,60	2,34	0,68	0,020	0,005	0,057	0,13	0,57	0,014	0,060	269	900	8,8	90	8	< 1	850
699(E)/66	3,60	2,33	0,68	0,021	0,008	0,064	0,10	0,59	0,014	0,054	269-278	940	7,2	90	8	< 1	900
1534/106	3,69	2,30	0,68	0,019	0,006	0,060	0,08	0,54	0,015	0,060	285	960	8	90	1	1	900
1585/108	3,61	2,30	0,60	0,023	0,008	0,050	0,10	0,60	0,022	0,055	285	940	7,6	90	1	1	850
1685(E)/114	3,50	2,27	0,69	0,023	0,007	0,050	0,05	0,60	0,018	0,050	269	930	7,6	90	5	–	850
1685(F)/116	3,66	2,30	0,62	0,020	0,005	0,047	0,05	0,57	0,014	0,058	269	910	8,8	90	2	–	850
1714/118	3,70	2,43	0,67	0,017	0,005	0,050	0,06	0,62	0,014	0,056	269-285	880	8,0	90	8	< 1	850
1720/120	3,63	2,31	0,71	0,017	0,008	0,060	0,06	0,60	0,018	0,051	255	805	6	90	8	< 1	850
											250-300	≥ 750	≥ 5	≥ 90	≤ 8	≤ 1	

В качестве образцов для исследований микроструктуры и определения твердости были взяты шатунные и коренные шейки коленчатого вала с примыкающими частями щёк. Исследованы микроструктура твердость основного металла и металла закаленного слоя: глубина и геометрия закаленного слоя шейки коленчатого вала, твёрдость по Роквеллу. Результаты исследования закаленного слоя приведены в таблице 18.

Результаты исследований показали, что твёрдость поверхности, толщина зоны ТВЧ, микроструктура закаленного слоя соответствуют требованиям чертежа (рис.15,16,17). Расстояние от края галтели до начала слоя ТВЧ на коренной шейке составляет 3,4 и 1,8 мм, что является отклонением от чертежного размера $2_{-0,5}$ мм.

Данное отклонение не связано с материалом и объясняется настройкой оборудования в основном производстве.

Таблица 18 – Проверенные параметры валов коленчатых №1 и № 2

Проверенные параметры	Требования НД	Фактические результаты
Твердость поверхности коренной и шатунной шеек	≥ 50 HRC (по чертежу)	Коренная шейка (вал 1) – 54,5...55,5 HRC. Шатунная шейка (вал 2) – 53,5...55,0 HRC.
Расстояние от края галтели до начала слоя ТВЧ (вал 1)	на коренной шейке: $2,0_{-0,5}$ мм (по чертежу)	Расстояние от края галтели до начала слоя ТВЧ: $\sim 2,0$ мм и $\sim 1,8$ мм, см. рис. 15.
Расстояние от торца противовеса до начала слоя ТВЧ (вал 2)	на шатунной шейке: $4,0_{+1,3}$ мм (по чертежу)	Расстояние от края галтели до начала слоя ТВЧ: $\sim 3,4$ мм и $\sim 1,8$ мм, см. рис. 16.

Продолжение таблицы 18

Проверенные параметры	Требования НД	Фактические результаты
Толщина зоны ТВЧ на коренной и шатунной шейках	h 2...3 мм (по чертежу)	Общая толщина упрочненного слоя: коренная шейка (вал 1) – h ~ 2,40...2,50 мм, шатунная шейка (вал 2) – h ~ 2,04...2,60 мм
Микроструктура зоны ТВЧ	-	Коренная шейка (вал 1) – мартенсит, феррит, см. рис. 17. Шатунная шейка (вал 2) – мартенсит, феррит, см. рис.18

Типичная микроструктура чугуна марки ВЧ65в литом состоянии приведена на рисунке 14.

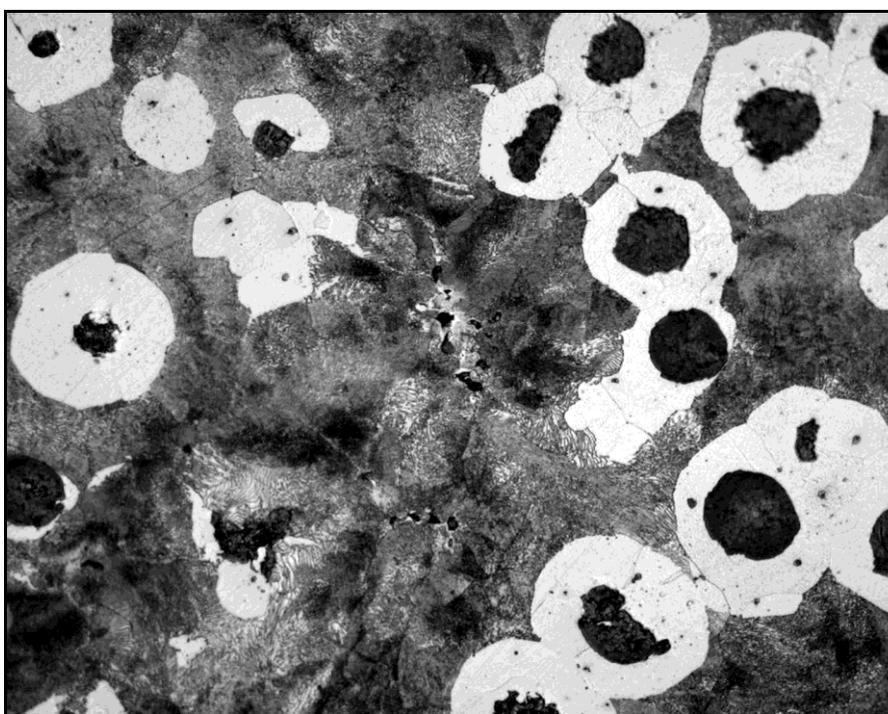


Рисунок 14 – Микроструктура высокопрочного чугуна на перлитно-ферритной основе до нормализации в литом состоянии ($\times 100 \times 0,5$, травление ниталом)

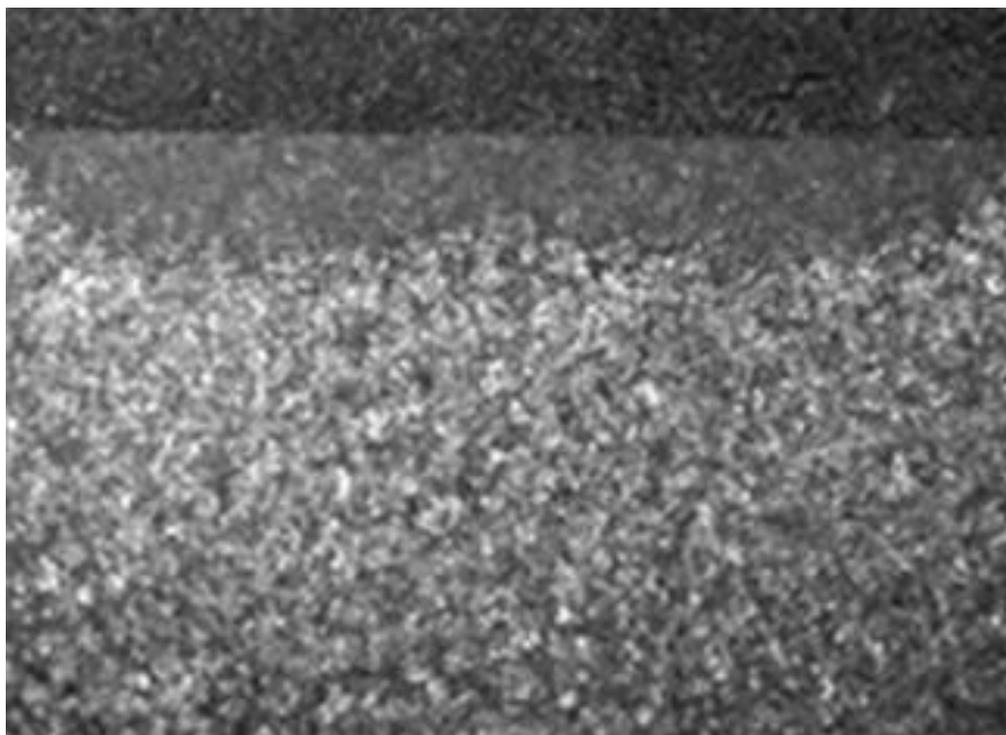


Рисунок 15 – Макроструктура коренной шейки вала 1 в зоне закалки ТВЧ,
травитель – нитал

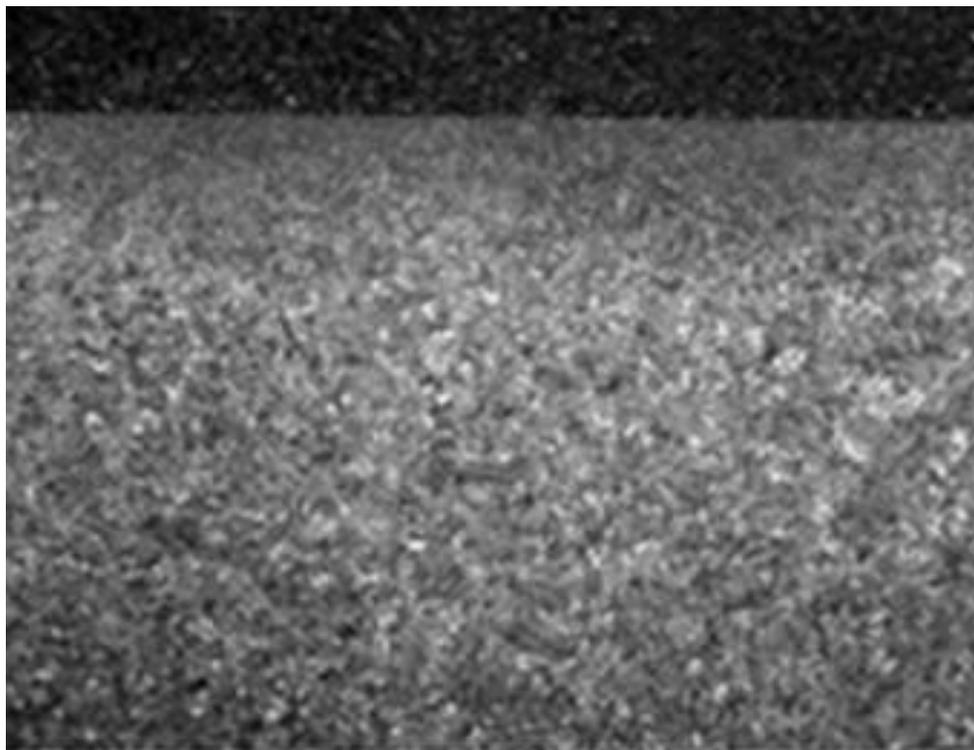


Рисунок 16 – Макроструктура шатунной шейки вала 2 в зоне закалки ТВЧ,
травитель – нитал

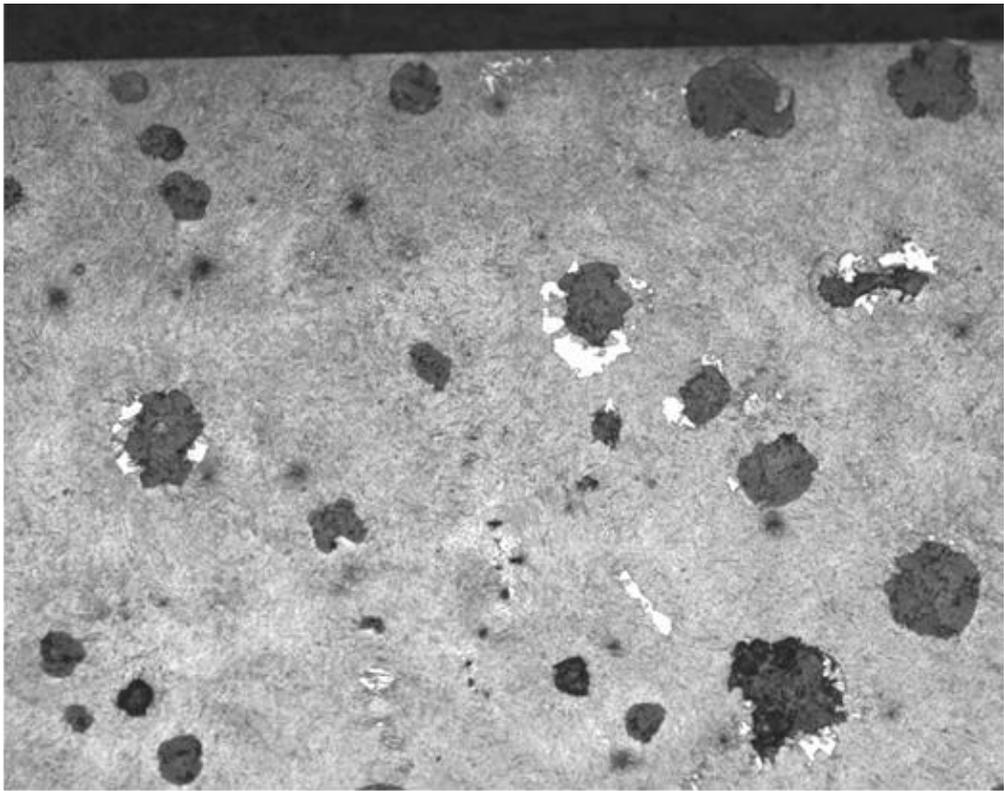


Рисунок 17 – Микроструктура упрочненного слоя коренной шейки вала 1 после нормализации, травитель – нитал (x200)

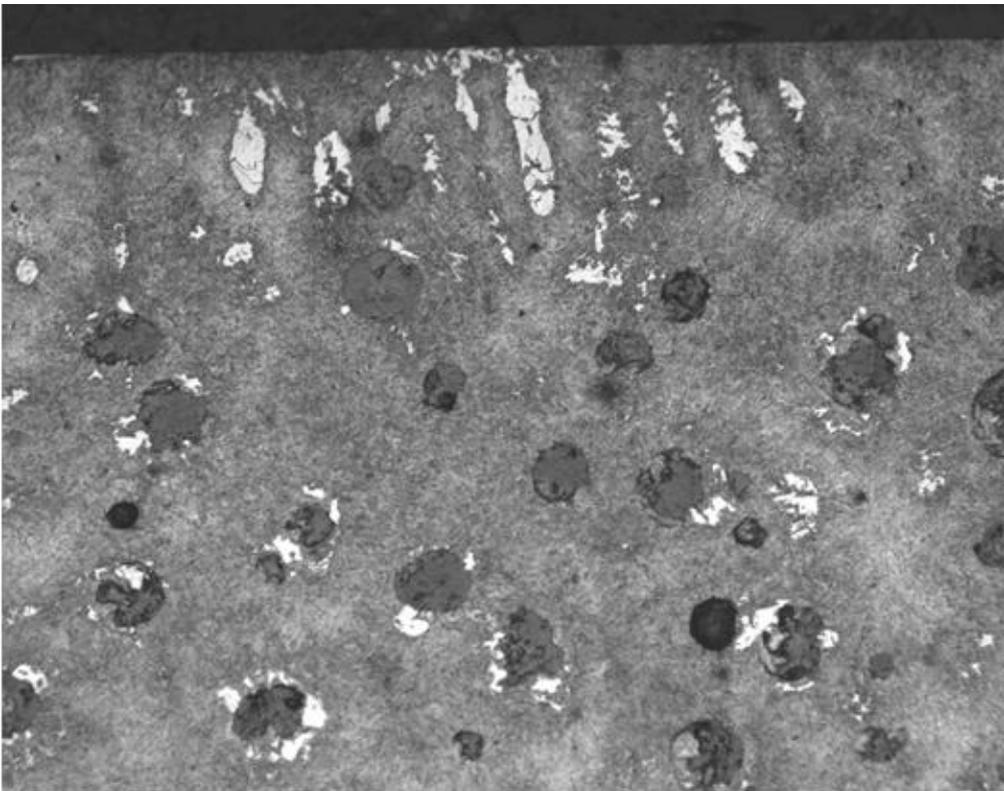


Рисунок 18 – Микроструктура упрочненного слоя шатунной шейки вала 2 после нормализации, травитель – нитал (x200)

Микроскопическим анализом основного металла на примере коренной шейки вала определены следующие параметры микроструктуры:

- 1) Распределение и степень сфероидизации графитных включений (рис19).
- 2) Микроструктура металлической основы и %-ое содержание феррита (рис.20).

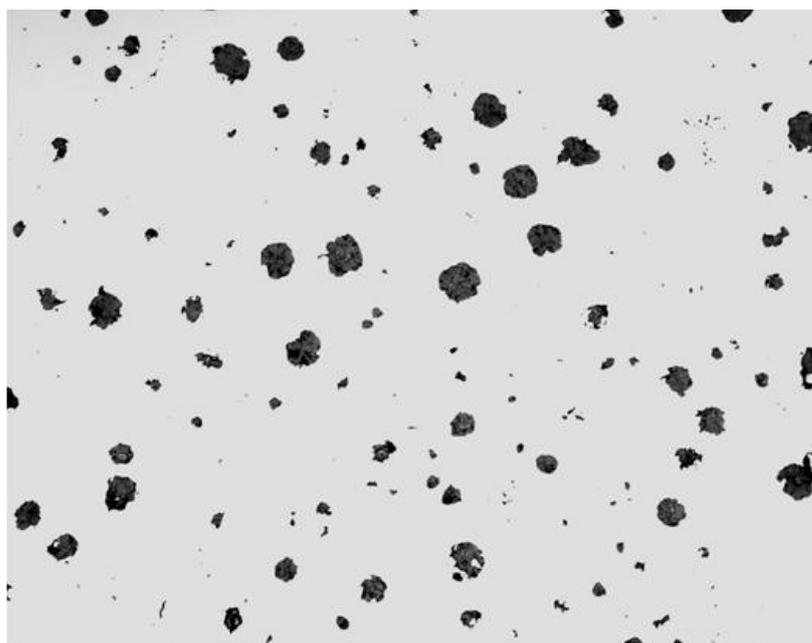


Рисунок 19 – Графит в материале коренной шейки вала 1, не травлено

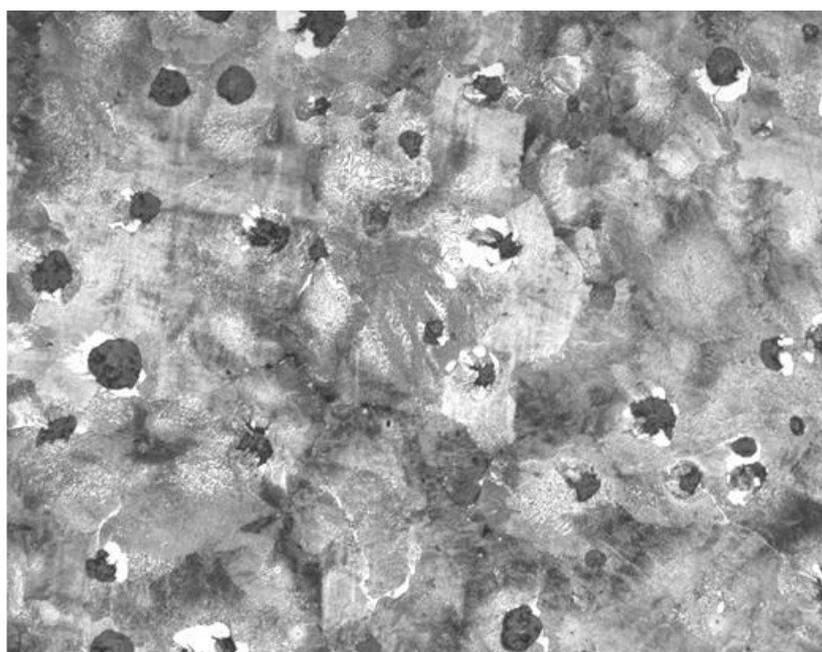


Рисунок 20 – Микроструктура металлической основы материала шатунной шейки вала 2, травитель–нитал

Микроскопический анализ структуры основного материала показал, что в основном присутствует шаровидный графит типа ОА и ОВ. Степень сфероидизации графита гарантированно осталась на том же уровне - 90%. Количественный анализ микроструктуры металлической основы после нормализации показал снижение содержания феррита: 2/3 от общего числа исследованных образцов имеют менее 5% феррита. Учитывая возможные отклонения технологических параметров в массовом производстве, вышеназванный критерий микроструктуры позволяет гарантировать количество феррита в микроструктуре менее 8%, согласно требованиям нормативной документации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведения опытно-промышленных и исследовательских работ определены технологические параметры процесса модифицирования чугуна ВЧ65 способом «заливка сверху»: величина навески модификатора ФСМг6Ла – 18-20 кг на 1100 кг расплава; время заполнения ковша 30-60 секунд.

2. Окончательно уточнено содержание кремния (2,2-2,4%), марганца (0,62-0,72%) и меди (0,58-0,65%) в ковшевом химическом составе чугуна без учёта фактического содержания никеля в расплаве чугуна. Установлено, что данный химический состав чугуна гарантирует получение микроструктуры и свойств чугуна, соответствующих требованиям стандарту Renault 02-21-001/-F и нормали FIAT-BA3 52215, ВЧ65 в литом состоянии и ВЧ75 в нормализованном состоянии.

3. Исключить операцию нормализации деталей «Вал коленчатый» на данном этапе не представляется возможным в виду образования прижогов при механической обработке торцев. Бесприжоговую обдирку торцев деталей возможно обеспечить за счёт введения операции правки круга и подбора его характеристик, а также модернизации действующего оборудования.

4. Годовой экономический эффект от внедрения «лёгкой» лигатуры ФСМг6Ла взамен «тяжёлой» лигатуры Ni-Mg-Ce при изготовлении отливок деталей «Вал коленчатый» всех моделей ориентировочно составит ~ 4 млн. руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горшков А.А. О механизме образования шаровидного графита // Литейное производство. 1955. № 3. С. 17–21.
2. Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. М.: Машгиз, 1963., 416 с.
3. ГОСТ 7293-85 Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки
4. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технологий литейного производства. М., «Машиностроение», 1974, -472 с.
5. Прусс А.П. Справочник плавильщика/. – М.: Машиностроение, 1992. 254 с.
6. Theuwissen K. Structure of graphite precipitates in cast iron / K. Theuwissen, J. Lacaze, L. Laffont // International Carbon Journal. – 2016. – V. 96. – №1. – P. 1120-1128
7. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. - К.:Вища школа. Головное издательство, 1988.- 351 с.
8. Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы... М.: Металлургия, 1987. – 232 с.
9. Зенкин Р.Н. Механизм и разновидности модифицирования высокопрочного чугуна// Известия ТулГУ. Технические науки. -2014. – Вып.1.
10. Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г., Вареник П.А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Захарченко Э.В.- Киев: Наукова думка 1986
11. Labrecque C. Ductile iron: fifty years of continuous development / C. Labrecque, M. Cagne // Canadian Metallurgical Quarterly. – 1998. – Vol. 37. – №5. – P. 343-378
12. Hartung C. The continuing evolution of MgFeSi treatments for ductile and CG irons / C. Hartung, D. White, K. Copi, M. Liptak, R. Logan // International Journal of Metalcasting. – 2014. – Vol. 8. – №2. – P. 7-15

13. Волощенко М. В., Хубенов Г. Н. Барийсодержащие комплексные модификаторы для получения высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1981. №12. С. 7–9
14. Болдырев Д. А. Новые эффективные модификаторы и технологии модифицирования чугунов // Литейное производство. 2006. №12.
15. Болдырев Д. А. Освоение новых модификаторов и технологий модифицирования для получения литых заготовок в чугунолитейном производстве ОАО «АВТОВАЗ»
16. 2-й Литейный консилиум «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов»: Сборник трудов. – Челябинск: ООО «ИЦМ», 2007. С. 109–119
17. Кудрявцев И.В. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Т.4 Чугун / Кудрявцев И.В. – М.: Машиностроение 1968
18. Болховитинов Н.Ф. Справочник по машиностроительным материалам. Т.3 Чугун / Болховитинов Н.Ф.- М.: МАШГИЗ 1965
19. Александров Н. Н., Ковалевич Е. В., Поддубный А. Н. Производство высококачественных чугунов // Литейное производство.- 1996.- №11
20. Литовка В. И., Бех Н. И., Шинский О. И., Косников Г. А. Усталостная прочность и разрушение чугуна с шаровидным графитом // Литейное производство. - 1994.- №6
21. Кульбовский И.К., Поддубный А.Н., Коряков Н.Ф., Литейное производство Брянско-Людиновского региона //Литейное производство.- 1994.-№8
22. Косячков В.А. Причина хрупкости высококремнистого ферритного чугуна с шаровидным графитом // Литейное производство.- 2010.- №7.- С. 2-4
23. Болдырев Д.А. Освоение производства высоких марок высокопрочных чугунов для отливок деталей «Коробка дифференциала» КПП перспективных силовых агрегатов автомобилей ВАЗ // Литейщик России.- 2013.- №4.- С. 24

24. Гуляев А.П. *Металловедение* // Гуляев А.П.- М.: *Металлургия* 1986
25. Ключнев Н.И. *Технология производства отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом* / Ключнев Н.И.- М.: *МАШГИЗ* 1962.
26. Ковалевич Е.В. *Экологически безопасная технология получения чугуна с шаровидным графитом* // *Литейное производство*.- 2010.- №12.- С. 2-5
27. ГОСТ 27611-88 «Чугун. Метод фотоэлектрического спектрального анализа
28. ГОСТ 1497-84 *Металлы. Методы испытаний на растяжение*
29. Горина Л.Н. *Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.методическое пособие.* - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. 52 с.
30. Болдырев Д.А. *Формирование рациональной структуры и повышение стабильности свойств графитизированных чугунов для автомобилестроения их модифицированием и микролегированием: дис. д-ра техн. наук: 05.16.09 – Самара, 2013. – 332 с.*
31. *Стандарт предприятия СТП 37.101.9808-2006 «Отливки из чугуна с различной формой графитовых включений. Метод определения графитовых включений»*
32. ГОСТ 3443-87 *Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры*

ПРИЛОЖЕНИЕ А

