

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)
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
(код и наименование направления подготовки)
Материаловедение и технологии наноматериалов и наносистем
(наименование профиля)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Апробация и промышленное освоение получения высокопрочного чугуна для автомобильных деталей легкими магнийсодержащими лигатурами»

Студент	<u>Д.С. Платонов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>Д.А. Болдырев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>Л. Н. Горина</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>Н.В. Яценко</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>В. Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

И. о. заведующего кафедрой к.т.н., А.С. Селиванов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Пояснительная записка содержит: 58 страниц, 25 рисунков, 16 таблиц, 23 источника.

Проводимая работа касается отливок деталей автомобиля из чугуна с шаровидным графитом марки Gh56-40-05, получаемого с помощью ковшевого модифицирования (на примере суппорта переднего тормоза, изготовленного предложенным способом). Исследованы химический состав, структура и механические свойства чугуна Gh56-40-05 в отливке.

Во введении представлены цели и задачи, актуальность, научная новизна.

Первый раздел посвящен аналитическому обзору, в котором отмечены общие сведения о модифицировании высокопрочного чугуна, приведены термины, обозначения и сокращения. Рассмотрены виды модификаторов и лигатур, а также способы ковшевого модифицирования.

Второй раздел описывает методики исследований и выбор модификатора. Представлено оборудование для определения химического состава, структуры и свойств опытных образцов.

Третий раздел посвящён разработке вариантов сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна на основе базового «сэндвич-процесса».

В четвёртом разделе рассмотрено влияние процесса литья и модифицирования чугуна на экологию.

В пятом разделе приведены результаты исследования опытных отливок на химический состав, микроструктуру и механические свойства.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 58 pages, 25 figures, 16 tables, 23 sources.

This work concerns castings of car parts in ductile cast iron (Gh56-40-05), obtained by means of bucket modification (exemplified by a brake caliper manufactured by the proposed method). The chemical composition, structure and mechanical properties of ductile cast iron (Gh56-40-05) in casting are investigated.

The introduction presents the aims and objectives of the paper, its relevance and rationale.

The first section is devoted to the analytical review, which presents general information on the modification of high-strength cast iron, gives terms, notations and abbreviations. The types of modifiers and ligatures, as well as the methods of bucket modification are considered.

The second section describes the research methods and the choice of the modifier. The equipment for determining the chemical composition, structure and properties of prototypes is presented.

The third section is devoted to the development of options for spheroidizing modification of high-strength cast iron based on the main "sandwich cover".

In the fourth section, the influence of the casting process and the modification of cast iron on ecology is considered.

In the fifth section, the results of a study of experimental castings on the chemical composition, microstructure, and mechanical properties are presented.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Аналитический обзор.....	7
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Модификаторы и лигатуры.....	14
1.3 Способы ковшевого модифицирования лёгкой лигатурой.....	15
1.3.1 «Сэндвич-процесс».....	16
1.3.2 Процесс «Ковш с крышкой».....	20
2 Материал и методики исследования.....	27
2.1 Исследуемый материал.....	27
2.2 Определение химического состава.....	27
2.3 Металлографический анализ.....	28
2.4 Определение механических свойств.....	29
3 Совершенствование технологии «сэндвич-процесс».....	32
3.1 Камера в днище ковша.....	33
3.2 Вставка на дне ковша.....	36
3.3 Перегородка на дне ковша из огнеупорных кирпичей.....	38
3.4 Контейнерное модифицирование.....	40
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	42
4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика цеха 11/1 чугуно-литейного производства.....	42
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	43
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	44
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	45
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	46
4.6 Заключение по разделу «Безопасность и экологичность технического объекта».....	47
5 Результаты исследования.....	48
5.1 Химический состав.....	48
5.2 Микроструктура.....	49
5.3 Механические свойства.....	52
Заключение.....	53
Список использованной литературы.....	54

ВВЕДЕНИЕ

На литьё деталей из чугуна с шаровидным графитом марки Gh56-40-05, получаемого с помощью ковшевого модифицирования Ni-Mg-Се-лигатурой приходится относительно много никеля, который высок в себестоимости.

Актуальность работы связана с тем, что использование ковшевого сфероидизирующего модифицирования «лёгкой» лигатурой типа ФСМг по сравнению с «тяжёлой» Ni-Mg-Се-лигатурой позволяет в несколько раз снизить себестоимость получения отливок деталей автомобиля из ВЧШГ при сохранении требуемого уровня структуры и свойств.

Целью работы является повышение эффективности модифицирования высокопрочного чугуна при использовании ФСМг («легкой» лигатуры) с обеспечением необходимого уровня его структуры и свойств.

Для реализации указанной цели был поставлен и решен ряд задач:

- Изучить способы ковшевого модифицирования высокопрочного чугуна «лёгкой» лигатурой типа ФСМг;
- Выбрать из изученных способов модифицирования 1 наиболее приемлемый для действующего чугунолитейного цеха и провести его усовершенствование;
- Провести опытную апробацию усовершенствованного способа модифицирования высокопрочного чугуна на одной из выбранных автомобильных отливок;
- Исследовать состав, структуру (феррит, перлит, графит) и механические свойства (твёрдость, прочность, пластичность) выбранной отливки.

Объект и предмет исследования – суппорт переднего тормоза 2101-3501016/17 из чугуна марки Gh56-40-05 (нормаль FIAT-BA3 52215).

При получении отливок деталей автомобиля в условиях ЧЛП МтП ПАО «АВТОВАЗ» из высокопрочного чугуна марки Gh56-40-05 наиболее распространённым является ковшевое модифицирование с использованием «тяжёлой» Ni-Mg-Сe-лигатуры высокой плотности.

Вместо тяжелых никелевых лигатур предложено использовать относительно лёгкие лигатуры на основе ферросилиция с содержанием магния до 12%, но такие лигатуры имеют меньшую плотность по сравнению с плотностью жидкого чугуна, поэтому необходимо придумать как удержать лигатуру внутри расплава с помощью конструкции ковша.

Всего в работе 58 страниц, где приведены:

- Общие сведения о способах ковшевого модифицирования и видах модификаторов
- Расписаны оборудование и методики исследования и испытаний
- Выбран один из базовых способов ковшевого модифицирования легкой ФСМг-лигатурой, проведено его усовершенствование и апробация
- Представлены результаты анализа состава, структуры и свойств материала отливок из чугуна марки Gh56-40-05 и соответствующие выводы

1 Аналитический обзор

1.1 Общие сведения

Для получения стабильных свойств литейных сплавов, как эффективный метод, используют способ ковшевого модифицирования. Как основной модифицирующий элемент для ВЧШГ используют магний, который придает отливке хорошие характеристики прочности и наделяет изделие высокими упруго-пластическими свойствами. С момента открытия высокопрочного чугуна магний в мировой практике уже более 60 лет является наиболее предпочтительным элементом. Для модифицирования расплава чугуна, его обычно используют в связке с Cu, Ni, Fe, Si [1]. Придание более правильной глобулярной формы графита, в следствии модифицирования магниесодержащими лигатурами приближает детали из модифицированного чугуна к конструкционным сталям [2].

Под правильной глобулярной формой графита понимается идеальная сфера, на практике были попытки исследовать механизмы роста графита, для чего в печах переплавляли чугун с шаровидным графитом и выдерживали его для улетучивания магния, что был использован для сфероидизации графитных включений. Изображение б получили на растровом электронном микроскопе, снимок а, соответственно получен на оптическом микроскопе (рисунок 1) [3].

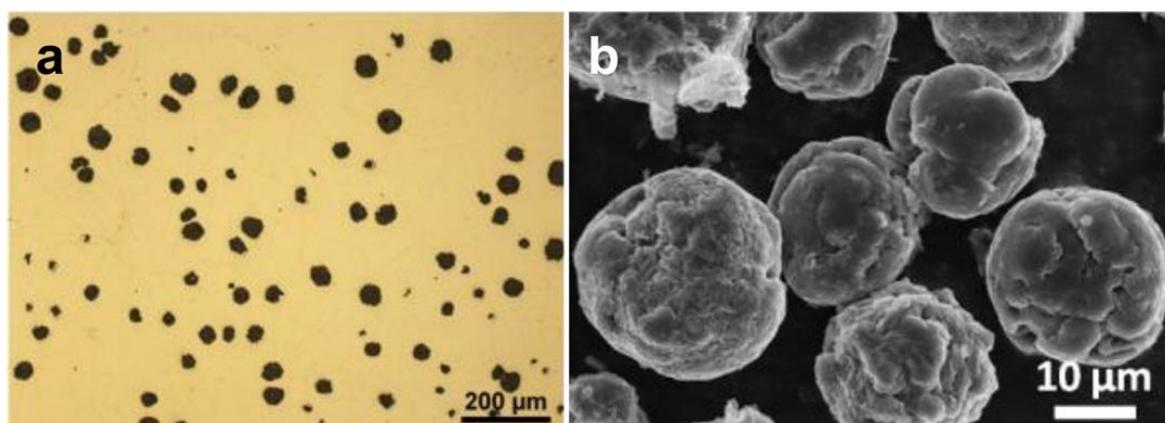


Рисунок 1 – глобулярный графит в чугуне

С самого начала производства высокопрочного чугуна конструкция ковшей для модификации претерпела различные изменения. Все они направлены на улучшение выхода конечного продукта и количественного снижения магния в лигатуре. Началось с того, что модификатор просто располагался на дне ковша и его заливали расплавом. Первое улучшение было – добавлением кармана и покрова для лигатуры. Затем расплав стали заливать еще и через крышку. Хронологический порядок основных конструкций – заливка сверху (pour over), сэндвич-процесс (Sandwich Cover), ковш с крышкой (Tundish Cover) представлен на рисунке 2 [4].

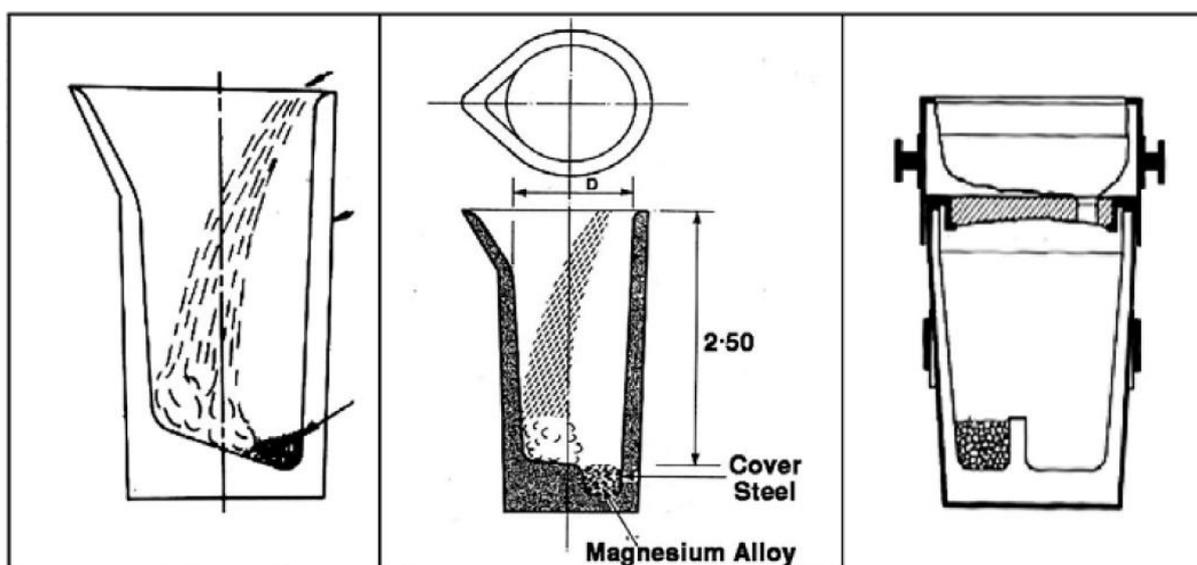


Рисунок 2 – Конструкции ковшей

В настоящее время существует большое многообразие способов сфероидизирующей обработки чугуна лёгкой лигатурой в ковшах различного типа. Это может быть ковш с крышкой, в которой проделаны множества отверстий для заливки расплава, чугун заливается в ковш быстрее, чем при одном отверстии, и мешает улетучиться отходящим газам, перекрывая доступ кислороду в ковш вплоть до окончания процесса (рисунок 3) [5]. Или ковш изготовлен в виде чайника без крышки, в одну часть засыпается модификатор, затем туда же заливают чугун и «чайник» заполняется модифицированным расплавом (рисунок 4) [6].

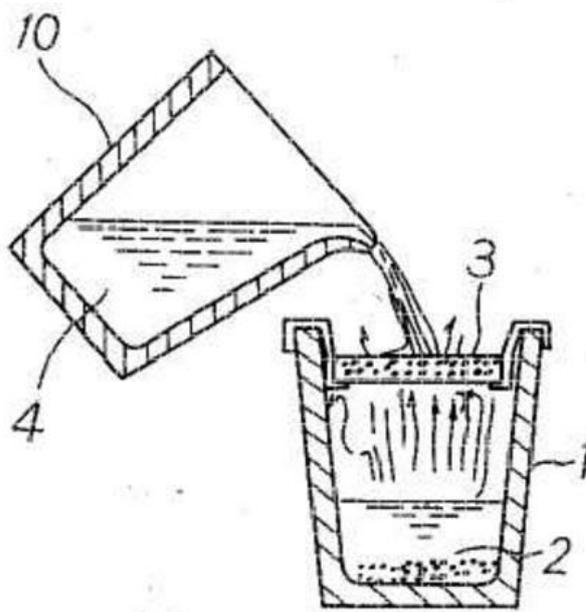


Рисунок 3 – авторский ковш с крышкой

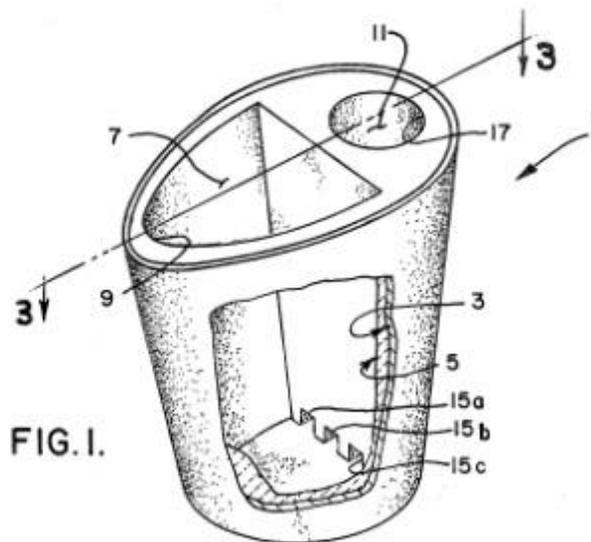


Рисунок 4 – авторский ковш для заливки сверху

Один из важных этапов производства ВЧШГ – введение сфероидизирующего модификатора в расплав. Магний вводят в расплав, как правило, вместе с редкоземельными элементами, например в сочетании с церием.

Способ сфероидизирующей обработки чугуна с целью получения шаровидных включений графита выбирается исходя из многих факторов. Для любого литейного предприятия главная цель заключается в производстве годных отливок требуемого качества с минимальными затратами. Ключевые факторы для этой цели – время усвоения введённых элементов во время обработки и годный выход самого расплава.

Модифицирование расплава чугуна проводится с целью получения заданных структуры и свойств посредством снижения степени переохлаждения расплава и увеличения центров кристаллизации графита при затвердевании отливки. Модифицирующая обработка позволяет получить предпочтительную форму графита и улучшить обрабатываемость, повысить механические свойства, снизить переохлаждение расплава, вероятность выделения ледебурита и вторичного цементита, и сегрегации включений, чувствительность к толщине стенки отливки, измельчить и гомогенизировать структуру чугуна.

Факторы при обработке расплава на ВЧШГ, ответственные за усвоение элементов:

1. Температура расплава
2. Марка сфероидизирующего модификатора и его фракция
3. Объём обрабатываемого металла
4. Скорость подачи расплава в реакционную ёмкость
5. Способ обработки

Способ проведения сфероидизирующей обработки выбирается исходя из многих факторов. Причём к основным ключевым факторам необходимо, прежде всего, отнести степень усвоения элементов при обработке расплава и выход годного.

Ввод в расплав чугуна сфероидизирующих модификаторов – одна из самых важных стадий при производстве ВЧШГ. Магний и магнийсодержащие модификаторы являются основными материалами для сфероидизирующей обработки базового чугуна. Под воздействием обработки расплава чугуна магнием графит выделяется и растёт в виде сферических частиц, а не пластин, что благоприятно сказывается на механических свойствах отливок. Сфероидизирующее воздействие на расплав сочетает в себе одновременно десульфурацию и раскисление, так как магний обладает большим сродством и к сере, и к кислороду. Магнийсодержащие сплавы также содержат небольшое количество различных элементов (Са, Се, РЗМ), которые позволяют уменьшить скорость реакции, способствуют сфероидизации графита, компенсируют и нейтрализуют действие примесных элементов, отрицательно воздействующие на морфологию графита, а также дают возможность контролировать структуру металлической матрицы.

Не стоит забывать, что чугунолитейное производство оказывает сильное влияние на атмосферный воздух, так как полный технологический процесс плавки чугуна сопровождается образованием пыли и отхода газов различного химического состава. На литейные цеха производства приходится до 20% общего атмосферного загрязнения, а значит выброс более 10 млн твёрдых веществ в год [7]. Элементы состава модификатора, шихта и стружка будут являться основными источниками для создания всевозможных оксидов и диоксидов. Можно убрать дополнительные элементы (железо, никель, кремний) за счет использования вакуумного литья, но метод разлива в ковшах оптимален с экологической точки зрения и со стороны безопасности производства. Отметим, что в мировой практике существуют случаи смертельного исхода при таких процессах, когда были предприняты попытки ввести чистый магний в расплав в инертной среде заполненной аргоном для предотвращения сгорания магния [8].

При ковшевом модифицировании известно, что чем быстрее протекает реакция модификатора с расплавом, тем ниже степень усвоения магния и больше шлаковых выделений и отходящих при этом газов (рисунок 5) [9].

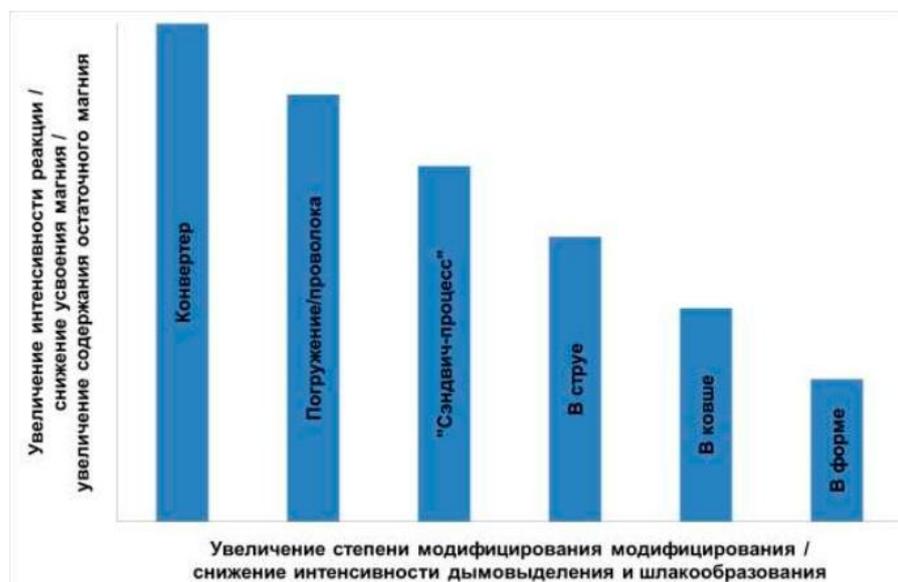


Рисунок 5 – диаграмма зависимости между интенсивностью процесса модифицирования и газовыделения

Определения, обозначения и сокращения:

Лигатура – сплав, состоящий из двух и более компонентов, используемый для внепечной обработки жидкого чугуна.

Модифицирование – разновидность внепечной обработки расплава чугуна, направленная на увеличение количества зародышей графита и получение равномерного распределения графитных включений в металлической матрице, а также на снижение степени переохлаждения в процессе эвтектической кристаллизации.

Контейнерное модифицирование – один из способов сфероидизирующего модифицирования чугуна «лёгкими» лигатурами, заключающийся в размещении модификатора в закрытом стальном сварном контейнере,

устанавливаемом на днище ковша, с целью задержания начала реакции с расплавом и всплытия модификатора на поверхность.

Пироэффект – реакция магнийсодержащего модификатора с расплавом чугуна, сопровождающаяся высоким световыделением и усиленной циркуляцией расплава в ковше.

Покровный материал – вспомогательные материалы (мелкая стальная высечка, чугунная стружка, графитизирующий модификатор), применяемые совместно или в отдельности для пригружения «лёгкого» сфероидизирующего модификатора в реакционной камере и задержки начала его реакции с расплавом чугуна.

Реакционный карман – специальное отделение в ковше для размещения «лёгкого» сфероидизирующего модификатора и покровного материала, представляющее собой полость в днище футеровки ковша; в нижней части ковша, ограниченной перегородкой из огнеупорного кирпича; во вставке из огнеупорного материала и т. п.

Степень сфероидизации графита (ССГ) – величина, характеризующая в высокопрочном чугуне отклонение формы шаровидного графита от идеального сфероида.

Степень усвоения магния – количество магния, перешедшего из модификатора в расплав чугуна; является характеристикой способа модифицирования высокопрочного чугуна.

Сэндвич-процесс – один из способов модифицирования высокопрочного чугуна «лёгкой» лигатурой, особенностью которого является размещение модификатора и покровного материала в специальном реакционном кармане заливочного ковша.

П – перлит (механическая смесь феррита и цементита).

Ф – феррит (твёрдый раствор углерода в α -железе).

ФСМг – ферросиликомагний.

ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным типом графита.

1.2 Модификаторы и лигатуры

При производстве отливок из высокопрочного чугуна используются 2 основных разновидности магнийсодержащих лигатур – «лёгкие» (на основе ферросилиция) и «тяжёлые» (на основе никеля и меди). Для получения ВЧШГ в условиях нашего литейного цеха наиболее распространенной является Ni-Mg-Ce-лигатура высокой плотности (таблица 1).

Таблица 1 Химический состав лигатуры Ni-Mg-Ce.

Массовая доля основных элементов, %			Массовая доля примесей, не более, %					
Ni	Mg	Ce	C	S	Cu	Fe	Mn	Σ
ост.	14...17	0,4...0,6	0,5	0,003	0,4	1,0	0,04	1,5

Никель, имея плотность $8,8 \text{ г/см}^3$, в сплаве с 10...20% магния образует легкоплавкую лигатуру (температура плавления около 1200°C) с плотностью около $7,4 \text{ г/см}^3$ [10]. Для введения этой лигатуры в расплав не требуется никаких приспособлений, процесс введения безопасен, выбросы жидкого металла отсутствуют, пироэффект незначительный. Однако, несмотря на то, что данный процесс отличается простотой проведения и позволяет получать достаточно стабильные механические свойства чугуна, имеет место повышенный расход дорогостоящего никеля. Такая лигатура как магний–медь близка по свойствам к лигатуре магний–никель, но усваивается значительно

хуже [10], поэтому, несмотря на меньшую стоимость, она не может вполне заменить более дорогую лигатуру с никелем.

Эта технология обеспечивает высокую степень усвоения магния (до 80-90%) и позволяет получать чугун с шаровидным графитом, отличающийся высокой стабильностью структуры и свойств. Помимо этого, содержащийся в лигатуре никель (табл. 1), оказывает благотворное влияние на весь комплекс механических свойств [11] в условиях повышенной температуры, так и при комнатной. Принимая во внимание протекание достаточно сильного пироэффекта и дымовыделения [12] при обработке расплава магниесодержащими модификаторами, лигатура Ni-Mg-Ce отличается довольно низкой пироактивностью. Однако высокая стоимость этой никельсодержащей лигатуры даже при невысокой норме расхода (0,4% от массы расплава) вызывает существенное повышение себестоимости получаемой детали.

В последнее время в мировой практике для получения деталей различной номенклатуры из ВЧШГ широкое распространение получили сравнительно лёгкие комплексные магниесодержащие лигатуры на основе ферросилиция [13]. Эти лигатуры отличаются небольшим содержанием магния (до 12%), поэтому их введение не сопровождается сильными вспышками и выбросами [14], 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 возникает необходимость в изготовлении специальных конструкций, устройств или приспособлений, позволяющих удерживать их внутри жидкого металла.

1.3 Способы ковшевого модифицирования лёгкой лигатурой

В настоящее время существует большое многообразие способов сфероидизирующей обработки чугуна лёгкой лигатурой в ковшах различного типа.

Способ введения в расплав чугуна сфероидизирующего материала (модификатора) является одним из самых важных стадий производства ВЧШГ. Одним из часто используемых элементов модификатора для сфероидизирующей обработки базового расплава чугуна является магний, который вводится в расплав, как правило вместе в редкоземельными элементами такими как церий и другими.

Способ сфероидизирующей обработки чугуна с целью получения шаровидных включений графита выбирается исходя из многих факторов.

Существующие методы ковшевой обработки расплава чугуна «лёгкими» магнийсодержащими материалами [10]: «сэндвич»-процесс и его модификации, а также процесс «ковш с крышкой».

Рассмотрим более подробно приведённые способы модифицирования и их модификации.

1.3.1 «Сэндвич-процесс»

Одним из наиболее перспективных и экономичных способов ковшевого модифицирования чугуна с использованием низкопроцентных магниевых лигатур является «сэндвич»-процесс (рисунок 6).

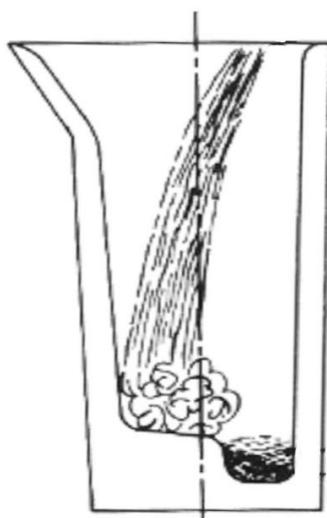


Рисунок 6 – Схема модифицирования «сэндвич»-процесс

При данном базовом методе модифицирования предусматривается специальный реакционный карман на дне заливочного ковша. Карман для «легкой» лигатуры изготавливается с запасом в верхней части для того, чтобы модификатор можно было присыпать мелкой стальной высечкой. Для его засыпки используют загрузочную трубу с раструбом (воронкой), в виду того, что модификатор вводится в уже нагретый ковш.

Данный способ позволяет:

1. обеспечивать требуемое время заливки;
2. избежать всплытия модификатора в процессе заполнения ковша (плотность модификатора меньше плотности расплава);
3. создавать необходимую площадь взаимодействия лигатуры с расплавом чугуна;
4. охлаждать чугун до начала реакции с лигатурой, что положительно отражается на степени усвоения магния (порядка до 50-60%).

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

Для сфероидизирующей обработки расплава чугуна наиболее популярен состав сплава ферросилиция с содержанием массовой доли магния от 3 до 12%

Преимущества использования ферросиликомагния в качестве сфероидизирующего модификатора:

1. Ферросиликомагний 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. Возможность управлять процессом испарения магния при введении в расплав чугуна за счет изменения его концентрации [15].

Сущность «сэндвич»-процесса заключается в том, что перед заливкой расплава в ковш на сфероидизирующий модификатор засыпается слой покровного материала для того, чтобы задержать начало реакции модифицирования. Чаще всего в качестве защитного материала покрытия используется стальная или чугунная стружка, дробь, стальная высечка,

ферросилиций. Вместе с задержкой начала реакции, материал покрытия охлаждает чугун непосредственно перед началом реакции с модификатором. Этот эффект охлаждения металла оказывает положительное воздействие на степень усвоения магния, так как с понижением температуры металла степень усвоения магния повышается и может достигать 50–60%.

Данный процесс применяется в цехе 11/3 ЧЛП МтП при производстве групповых отливок поршневых колец из ВЧШГ. 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 в цехе 11/3 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 в цехе 11/3 – 6 т).

Большая вместимость печей в цехе 11/1 (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.

Основные преимущества процесса заключаются в:

1. повышенном усвоении магния
2. малом необходимом времени на обработку

3. гибкости процесса и его простоте
4. относительно малом количественном отношении образующихся шлаков и газов

Основные недостатки процесса:

1. снижение производительности заливочного участка
2. ухудшение экологии в цехе

1.3.2 Процесс «Ковш с крышкой»

На рисунке 7 представлено принципиальное устройство ковша с крышкой. Заливка расплавленного металла производится через отверстие в крышке. В данном процессе при окислении магния значительно уменьшены его потери, вследствие равномерного и спокойного наполнения ковша, при заливке объема металла в ковш кислород воздуха вытесняется из реакционного пространства. При данном процессе модифицирования усвоение магния может достигать хороших значений до 70–75%, что является важным усовершенствованием относительно более простого «сэндвич»-процесса. Высокие показатели степени усвоения магния способствуют широкому распространению процесса «ковш с крышкой». По началу литейные производства постоянно сталкивались с тем, что после каждой новой заливки (обработки расплава) приходилось заменять крышку.

Внедрение съемно-стационарных крышек (с отдельной системой съема крышек или с болтовым креплением) позволило устранить выше упомянутый недостаток – такие крышки не требуют ручного съема после каждой новой обработки (заливки). При использовании процесса желательно, чтобы соотношение высоты к среднему диаметру ковша было не менее 2:1. Чтобы улучшить показатели процесса рекомендуется увеличить данное соотношение. Процесс «ковш с крышкой» наиболее подходит для обработки металлической массы в пределах от 100 кг до 10 т. Под каждый литейный цех могут быть соответствующие свои крышки различной формы и конструкции. На пример

это могут быть: ковш с фиксированной крышкой, ковши с автоматическим или ручным съёмом, крышки стационарные и т.д.

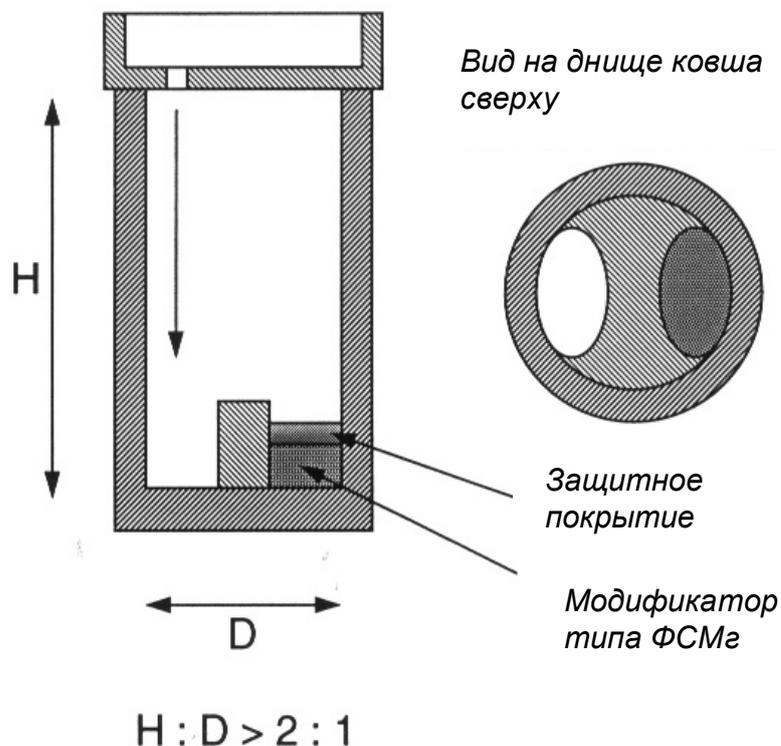


Рисунок 7 – Схема модифицирования в ковше с крышкой

Размер отверстия впуска расплава на крышке должен соответствовать массе обрабатываемого чугуна. Также во время процесса модифицирования нужно за струей металла, чтобы она не попадала в реакционный карман во избежание размыва модификатора и начала преждевременной реакции с магнием.

Если при обработке отсутствует выделение белого дыма, значит расчет ковша с крышкой и подбор модификатора были верно реализованы и как следствие это обеспечивает благоприятные экологические условия участка обработки, цеха и самого литейного производства в целом.

Использование двух симметричных реакционных карманов для модификатора может являться дополнительным преимуществом данной технологии. Благодаря их наличию ковш до некоторой степени может самостоятельно очищаться от шлака, который забивается в карманы. Происходит самоочистка посредством попеременного использования кармана в качестве реакционного и заливочного. Когда один карман зарастает шлаком, то крышку ковша поворачивают на 180° при этом парный чистый карман служит реакционным, в то время как загрязнённый шлаком становится заливочным.

Чтобы облегчить засыпку модификатора в карман для реакции используется специальная, оборудованная воронкой-раструбом загрузочная труба. Её использование позволяет избегать просыпки модификатора в другой карман. Кроме того, покровный материал легче размещается поверх модификатора, если он так же подаётся через загрузочную трубу.

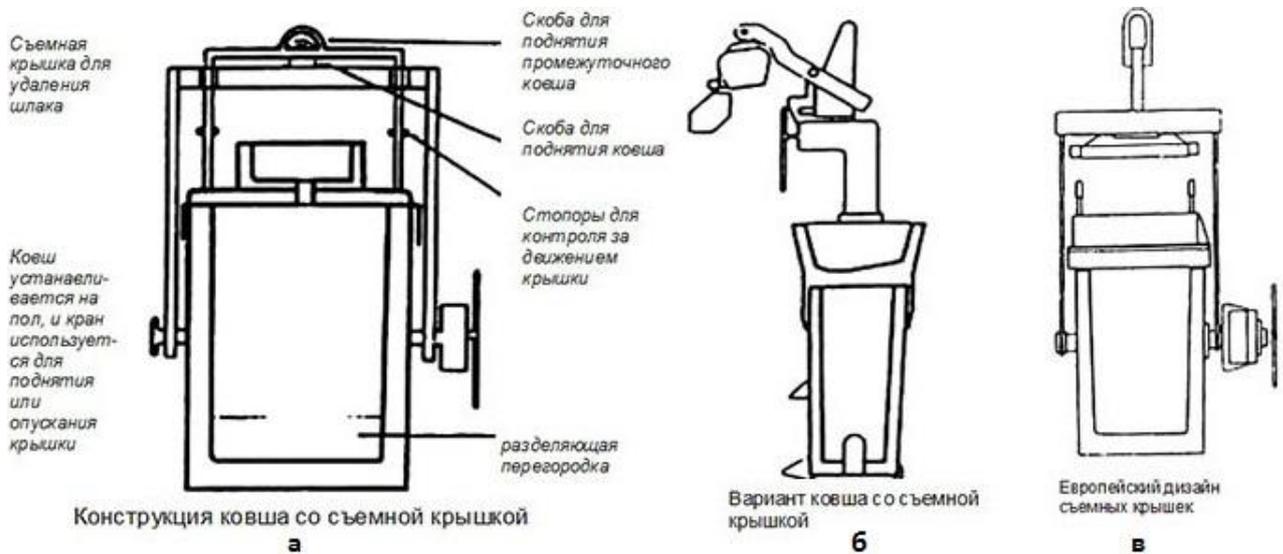
В качестве разновидностей процесса «ковш с крышкой» находят применение процессы «ковш со съёмной крышкой» и «ковш с фиксированной крышкой»

1.3.2.1 Процесс «Ковш со съёмной крышкой»

Процесс ковш со съёмной крышкой является наиболее гибким и простым в обслуживании при обработке чугуна. Механизм подъёма крышки может быть объединен с помощью специальной скобы с ковшом, или с помощью автопогрузчика с вилочным захватом крышка может сниматься с ковша. Также возможен вариант установки крышки на желоб печи. Основные преимущества ковшей со съёмной крышкой – относительно лёгкая очистка ковша и упрощённое удаление шлака, кроме этого, одна и та же крышка может использоваться для нескольких реакционных ковшей. А также отметим, что при снятой крышке легче загружать ФСМг лигатуру.

На рисунке 8 показано несколько вариантов конструкторских решений устройства ковшей с крышкой. Все эти различных примеры исполнений

объединяет то, что все крышки, при минимальных затратах, в собственных цехах, большинство литейных предприятий способны создать под свои уникальные условия.



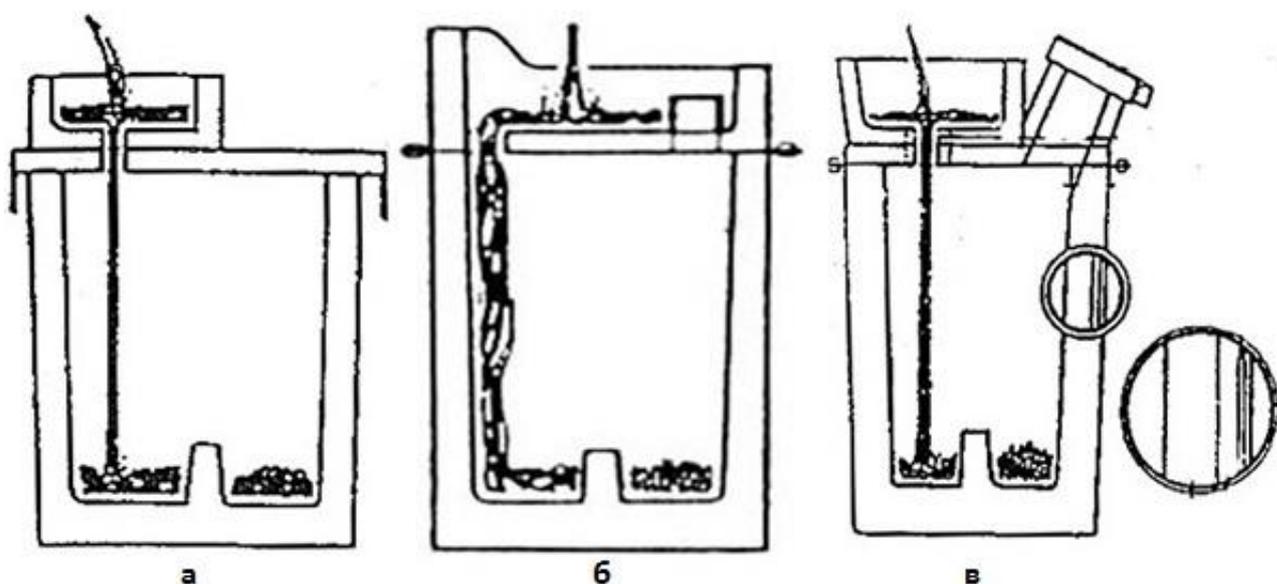
а – конструкция ковша со съёмной крышкой; б – конструкция съёмных крышек; в – вариант ковша со съёмной крышкой

Рисунок 8 – Устройство ковшей со съёмной крышкой

Определить наиболее подходящий тип ковша с крышкой может любое литейное производство. Кроме этого, всегда есть место для творчества, оригинального подхода при модернизации существующих и проектировании перспективных вариантов исполнений. По реализации процесс ковш с крышкой наиболее гибок. Основные цели разработки нового типа ковша с крышкой сводятся к экономичности процесса, которая связана напрямую с технологическими показателями (чистота металла, количество выделения дыма, количество отходящих газов, образование шлака и т.д).

1.3.2.2 Процесс «Ковш с фиксированной крышкой»

На рисунке 9 представлены некоторые варианты альтернативных конструкций «ковша с фиксированной крышкой». При наличии фиксированной крышки, в ней требуется загрузочное отверстие для подачи в ковш ФСМг. С противоположной стороны от падения струи металла находится реакционный карман. Недостаток такого ковша заключается в невозможности собирать образовавшийся во время эксплуатации шлак, поэтому без процедуры скачивания он может стать проблемой. Следовательно, для уменьшения количества шлака в ходе обработки расплава необходимо применять модификаторы, которые в своем составе имеют малую долю шлакообразующих элементов (Al, Ca и др. РЗМ).

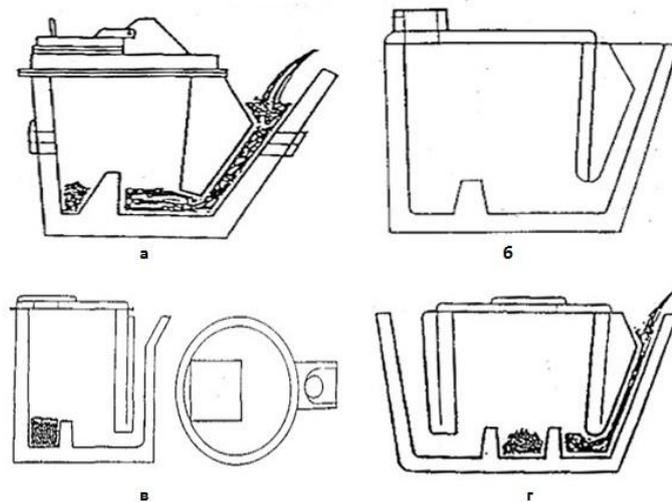


а – схема процесса модифицирования в ковше с крышкой; б – первая конструкция ковша с фиксированной крышкой; в – второе поколение промежуточных ковшей с фиксированной крышкой

Рисунок 9 – Примеры ковшей с фиксированной крышкой

1.3.2.3 Процесс «Чайниковый ковш»

Чайниковые ковши обладают тем преимуществом, что ковш можно заполнять и разливать через чайниковый носок. Отсутствует необходимость в использовании крышки для его заполнения. Таким образом, для чайниковых ковшей возможно использование как фиксированных, так и сменных крышек. Для ковшей, имеющих единственную носок, недостатком является снижение вероятности модифицирования последних порций металла. Эти порции металла остаются в носке до начала разливки металла по формам, и структура в первых отливках может отличаться низкой степенью сфероидизации графита или даже структурой серого чугуна с пластинчатым графитом. Для того, чтобы избежать данного рода проблем, было разработано устройство ковша с двумя чайниковыми носами: один предназначен для заполнения ковша, а другой – для разливки модифицированного расплава по формам. Благодаря эффекту отсечения шлака, присущего чайниковым ковшам, на заливку выходит, как правило, более чистый чугун. На рисунке 10 представлены примеры исполнений чайниковых ковшей.



а – чайниковый промежуточный ковш №1; б – модифицированный чайниковый промежуточный ковш №1; в – чайниковый промежуточный ковш №2; г – двойной чайниковый промежуточный ковш

Рисунок 10 – Примеры чайниковых ковшей с крышкой

Несмотря на более высокую эффективность в общем случае процесса «ковш с крышкой» по сравнению с «сэндвич-процессом» в работе проведено усовершенствование последней технологической схемы и её опытная апробация.

2 Материал и методики исследования

2.1 Исследуемый материал

Объект и предмет исследования – суппорт переднего тормоза 2101-3501016/17 из чугуна марки Gh56-40-05 (нормаль FIAT-BA3 52215).

Из данной марки чугуна делается ряд деталей – это направляющая колодок переднего тормоза, коробка дифференциала, кронштейн переднего моста, ступица заднего колеса и т.д. Рассматривать каждый из вариантов по отдельности не целесообразно, поэтому за объект исследования был взят суппорт переднего тормоза.

2.2 Определение химического состава

Химический состав определяли путём взятия кокильной пробы из ковша с залитым ФСМг6 модификатором: проба из уже модифицированного чугуна анализировалась методом спектрального анализа на спектрометре Spectrum GDA-750 (рисунок 11). В первую очередь важно соблюдать химические пропорции. Для марки Gh56-40-05 содержание химических элементов после модифицирования представлено в таблице 2.

Таблица 2 Химический состав чугуна Gh56-40-05 [16]

Отливка/Марка чугуна	Содержание химических элементов, %						
	C	Si	Mn	Cu+Ni	Cr	S	P
Суппорт переднего тормоза/Gh56-40-05	3,6- 3,8	1,9- 2,0	0,4-0,5	0,55- 0,85	$\leq 0,07$	$\leq 0,012$	$\leq 0,06$



Рисунок 11 – Спектрометр Spectroma GDA-750

Основные характеристики спектрометра — это диапазон измерения массовой доли элементов от $1 \cdot 10^{-5}$ до 100 %, предел допускаемого среднеквадратичного отклонения не более 3%, рабочий диапазон волн от 119 до 800 нм, диаметр анодов от 1 до 8 мм.

Спектральный анализ проводился в соответствии с ГОСТ 27611-88. Чугун. Метод фотоэлектрического спектрального анализа [17].

2.3 Металлографический анализ

После того как из уже модифицированного чугуна сделают суппорт, её направят на металлографическое исследование для выявления микроструктуры и анализа графитовых включений. Такое исследование проводилось на металлографическом микроскопе фирмы Buller (рисунок 12).



Рисунок 12 - Световой микроскоп Unimet 8585

В качестве реактива для травления чугунов был использован наиболее популярный состав из 3% раствора азотной кислоты в этиловом или метиловом спирте (ниталь), который при нагревании позволяет сократить время травления до 4-5 секунд.

При определении микроструктуры использовались эталоны и таблицы стандарта предприятия для отливок из чугуна [18]

2.4 Определение механических свойств

Образцы для определения механических свойств (измерений твёрдости и определения временного сопротивления разрыву) вырезались непосредственно из отливки суппорта.

Испытания на твёрдость проводились на твердомере ТБ 5004 (рисунок 13) для определения твёрдости по Бринеллю, а временное сопротивление и относительное удлинение рассчитывали с помощью разрывной машины TIRAtest 2300 (рисунок 14).



Рисунок 13 - Твердомер ТБ 5004



Рисунок 14 – Разрывная машина tiratest 2300

Технические характеристики Tiratest 2300:

- Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении силы, – % $\pm 1,0$
- Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении перемещения подвижной траверсы в диапазоне от 0 до 100 мм включительно, мм – $\pm 0,10$

- Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении перемещения подвижной траверсы в диапазоне от 100 до 1000 мм, % – $\pm 1,0$
- Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении деформации образцов (деталей) (измерительная головка Т1/2000), мм – $\pm 0,010$

Механические испытания проводились по ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю и ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» [19,20], в испытаниях на твёрдость соблюдался диапазон 180 до 250 НВ. При испытаниях на разрыв определялась сила при которой показатель временного сопротивления σ_B был не ниже 56 кгс/мм^2 , затем по шейке разорванного образца производили расчет относительного удлинения, которое для марки Gh56-40-05 должно быть 5 %.

3 Совершенствование технологии «сэндвич-процесс»

На основе проведённого в главе 1 анализа способов модифицирования «лёгкой» лигатурой в качестве наиболее приемлемого для условий цеха 11/1 ЧЛП МТП ПАО «АВТОВАЗ» был выбран «сэндвич»-процесс. В качестве сфероидизирующего модификатора для проведения опытных работ использовался ФСМг6. Химический состав используемого модификатора ФСМг6 представлен в таблице 3.

Таблица 3 Химический состав «лёгкой» лигатуры ФСМг6.

Содержание элементов, %					
Si	Mg	PЗМ	Ca	Al	Fe
47...48	5,5...6,2	0,8...1,2	0,8...1,2	макс. 1,0	ост.

В цехе 11/1 опробованы четыре варианта пробных заливок деталей 2101-3501016/17 «Суппорт переднего тормоза» из чугуна марки Gh56-40-05 с модифицированием «лёгкой» лигатурой ФСМг6 по технологии «сэндвич»-процесс. Для ведения опытной работы в серийном заливочном ковше был изготовлен карман для модификатора за счёт разделения донного пространства перегородкой из огнеупора. Вместимость ковша с учетом реакционной камерой – 1000 кг. Всего было опробовано 4 различных способа модифицирования:

1. Расплав чугуна обрабатывался при температуре 1480°C ФСМг6 модификатором в количественном соотношении 1,5% от массы расплава. После завершения процесса модификации с магнием в струю металла добавлялся графитизирующий ферросиликобариевый модификаторы ФС75Ba2,5K1,5 (химический состав модификатора представлен в таблице 4) в соотношении 0,3% от массы металла. Из наблюдений было замечено, что большая доля

модификатора ФС75Ba2,5K1,5 осталась на поверхности металла и не растворилась в расплаве, спеклась со шлаком.

Таблица 4 Химический состав графитизирующего модификатора ФС75Ba2,5K1,5.

Содержание элементов, %				
Si	Ba	Ca	Al	Fe
72...78	2...3	1...2	макс. 1,5	ост.

2. Расплав чугуна обрабатывался при температуре 1520°C ФСМг6 модификатором в количественном соотношении 1,2% от массы расплава. Для защиты навески использовали покрытие состоящей из смеси графитизирующего модификатора ФС75Ba2,5K1,5 (0,1% от массы металла) со стальной высечкой. Позднее вторичное модифицирование проводилось с использованием стандартного ФС75 в заливочной чаше. Масса каждого куска ФС75 составляла 150-200 г.

3. Расплав чугуна обрабатывался при температуре 1520°C модификатором ФСМг6 взятым в количестве также 1,2% от массы металла. При этом ФС75Ba2,5K1,5 добавлялся на струю металла в разливочный ковш во время переливки расплава чугуна из реакционного ковша.

4. Расплав чугуна подвергался обработке при температуре 1520°C. Навеска ФСМг6 составляла 1,2% от массы расплава. В качестве защиты навески использовали стальную высечку. Дальнейшее вторичное модифицирование проводилось с использованием ФС75 кусками по 150-200 г.

3.1 Камера в днище ковша

В первом варианте реакционный карман располагался на днище ковша по центру в виде асимметричного усечённого конуса. Карман расположен наклонной (длинной) частью в сторону носка ковша. Расположение по центру

обеспечит поэтапный плавный подъём металла при заполнении ковша и защитит засыпку модификатора от случайного попадания расплава при заливке.

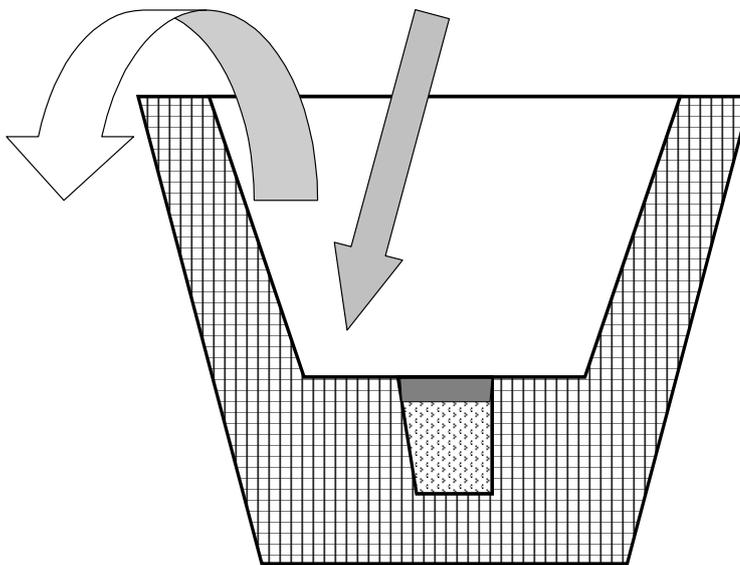


Рисунок 15 – Схема футеровки ковша с карманом (вариант1)

Исходные данные:

1. Масса расплава – 800 кг
2. Масса модификатора – 1,2 % от массы расплава
3. Масса присыпки – 0,3% от массы расплава
4. Насыпной вес ФСМг6 – 2250 кг/м³
5. Угол максимального наклона образующей - 75°
6. Соотношение высоты кармана к диаметру верхнего основания – 1,15
7. Коэффициент разницы размера гранул и учета несплошности в объёме насыпки модификатора – 1,15...1,20.

Средний диаметр реакционного кармана: $d = 3 + 6 \times R_M + 0,01 \times M_{\text{ч}}$ см

Высота реакционного кармана: $h = 10 + 3 \times R_M + 0,01 \times M_{\text{ч}}$ см

R_M – расход модификатора, %_{ВЕС} (0,9...1,4%);

$M_{\text{ч}}$ – масса расплава чугуна, кг (100...1500 кг).

Исходя из расчётов:

- объём реакционного кармана составил 4500 см^3
- с учётом поправочного коэффициента – 5300 см^3 .

Расчётные размеры реакционного кармана показаны на рисунке 16.

Необходимость увеличения толщины пода футеровки ковша - основной сдерживающий фактор внедрения технологии «сэндвич-процесс» с камерой по центру днища. При увеличении толщины ёмкость снизится на 400 кг, а это является недопустимым для массового производства. А значит необходимо обеспечить объём кармана при минимальных потерях (предел 100 кг)

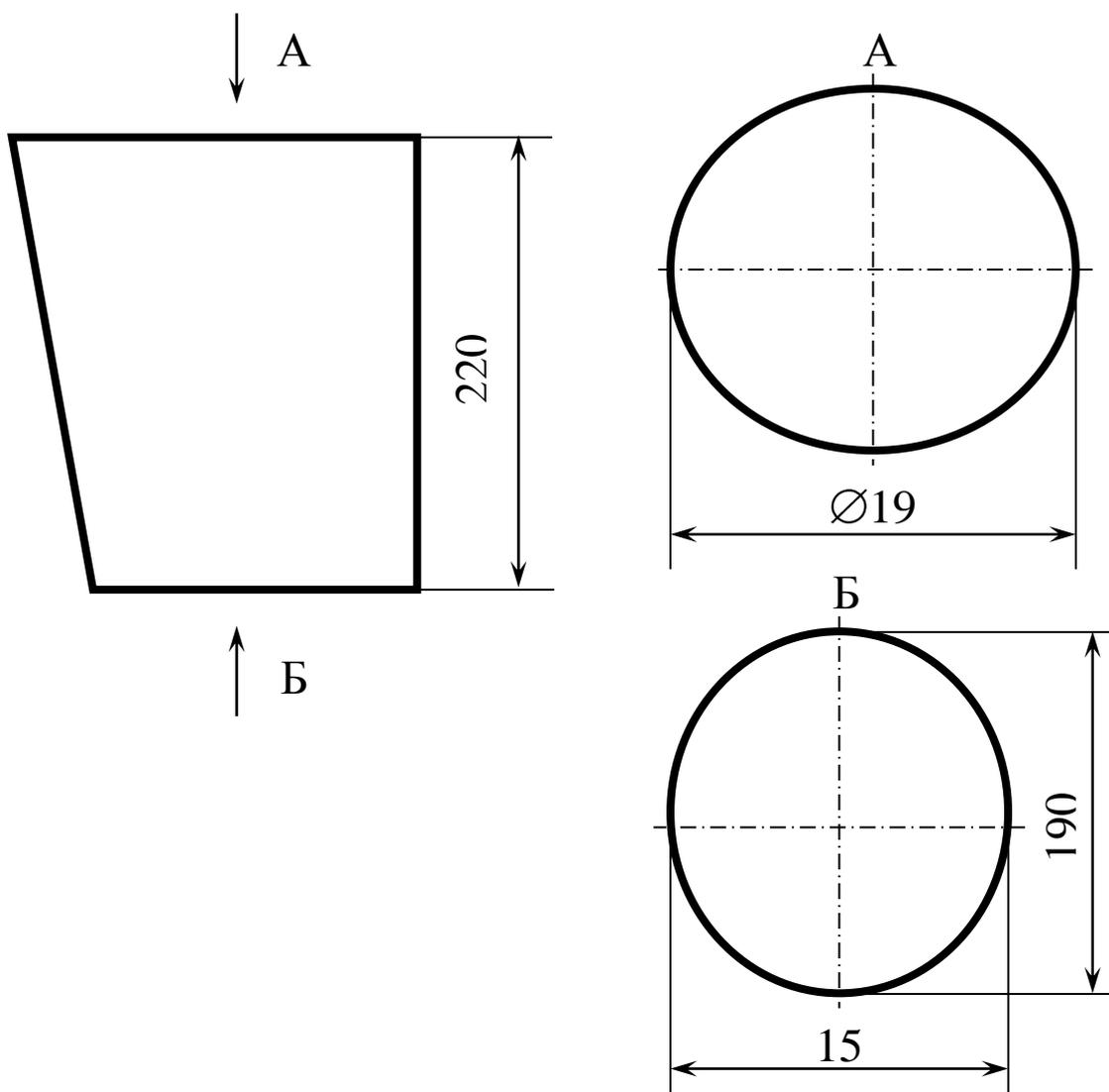


Рисунок 16 – Эскиз реакционного кармана (вариант 1)

3.2 Вставка на дне ковша

Второй вариант исполнения ковша основан также на базовом «сэндвич-процессе» с упором на минимизацию потери металлоёмкости по сравнению с первым вариантом (карман на дне ковша). В этом способе модифицирования не используется наращивание нижней части, а реакционный карман выполнен из огнеупорного материала – муллитовой массы, в форме усечённого полого конуса (рисунок 17, 18). При таком варианте уменьшение объема вместимости ковша не превышает порога в 100 кг, что является приемлемым, и не сильно отражается на производительности плана производства.

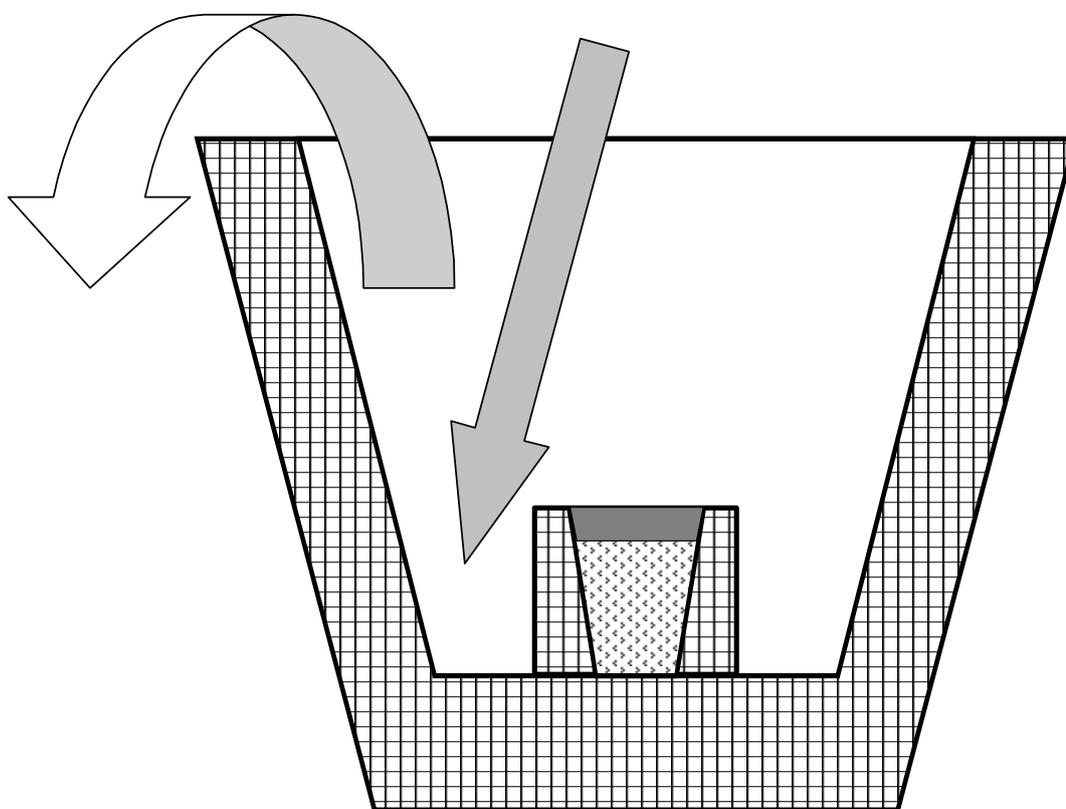


Рисунок 17 – Схема футеровки альтернативного ковша с карманом (вариант 2)

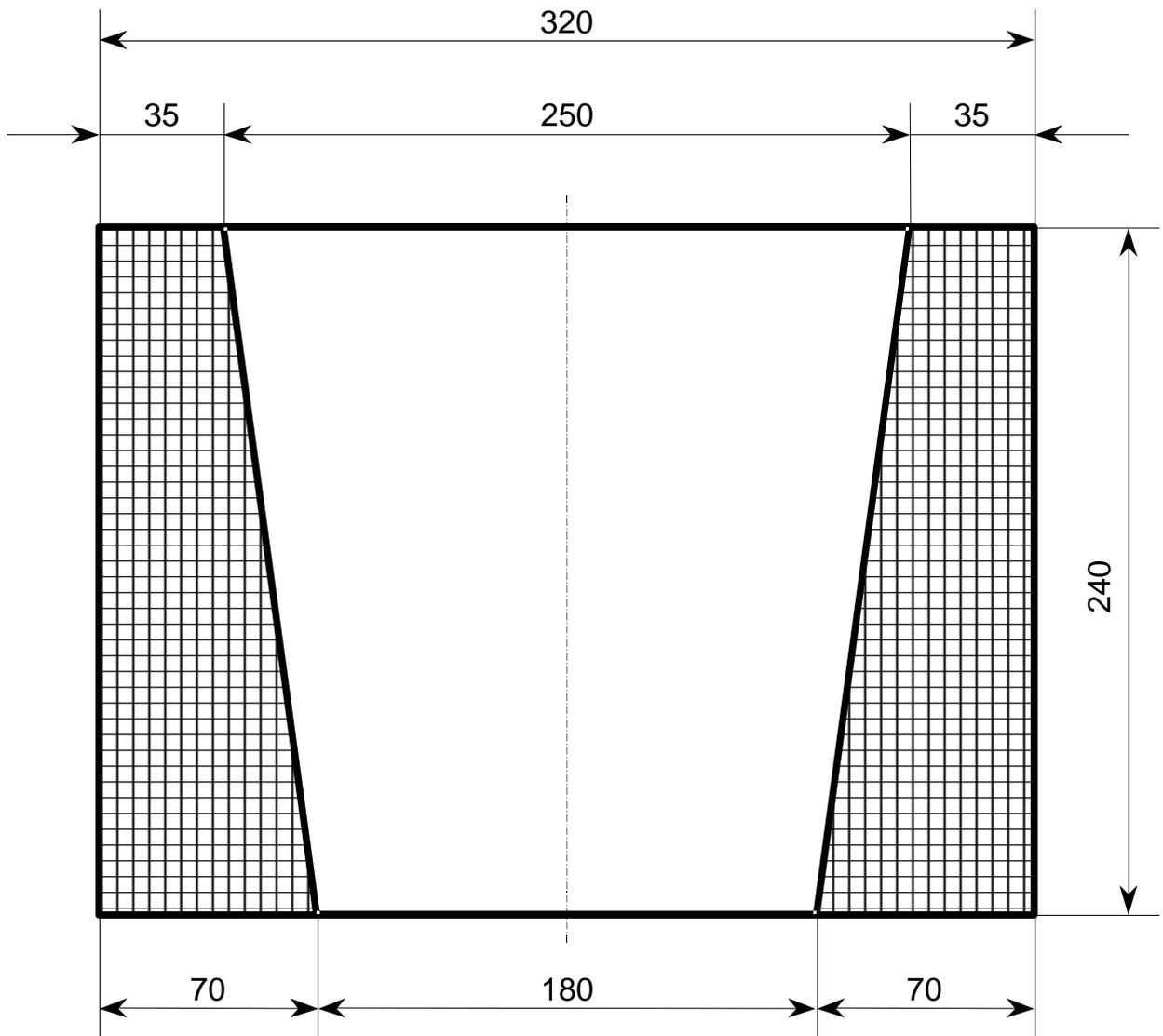


Рисунок 18 – Вставка из муллитовой массы (вариант 2)

Данный способ изготовления реакционного кармана имеет два недостатка:

1. трудоёмкость закрепления вставки на дне ковша и необходимость в специальных огнеупорных связывающих материалах;
2. повышенное зарастание узкой нижней части реакционного кармана в процессе эксплуатации ковша.

3.3 Перегородка на дне ковша из огнеупорных кирпичей

Для создания третьего варианта реакционного кармана на днище ковша (вариант 3, рисунок 19) были использованы огнеупорные кирпичи (марка материала МЛС-62) различных форм и размеров: №23, №45 и №5 (ГОСТ 5341-98).

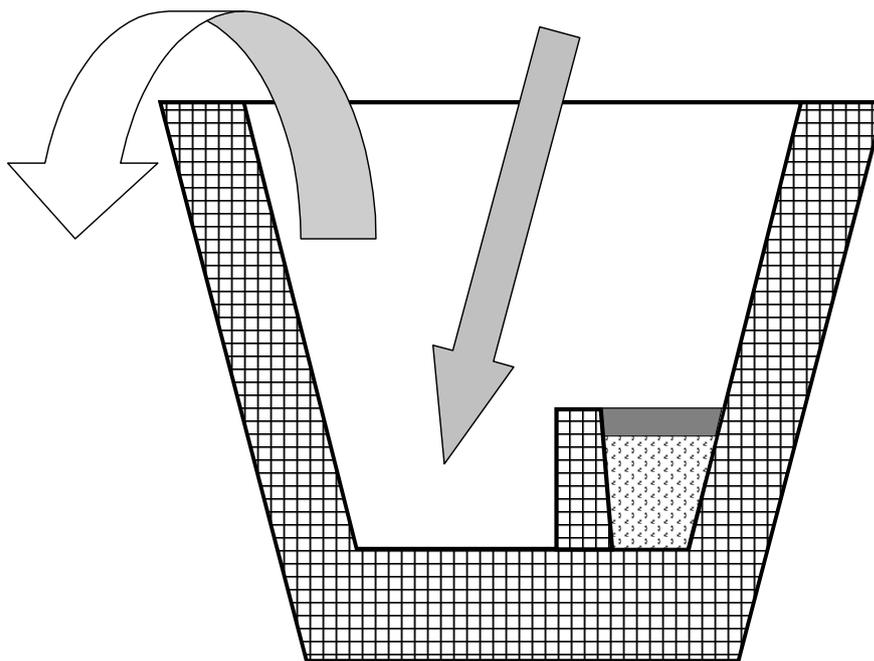


Рисунок 19 – Схема футеровки альтернативного ковша с карманом (вариант 3)

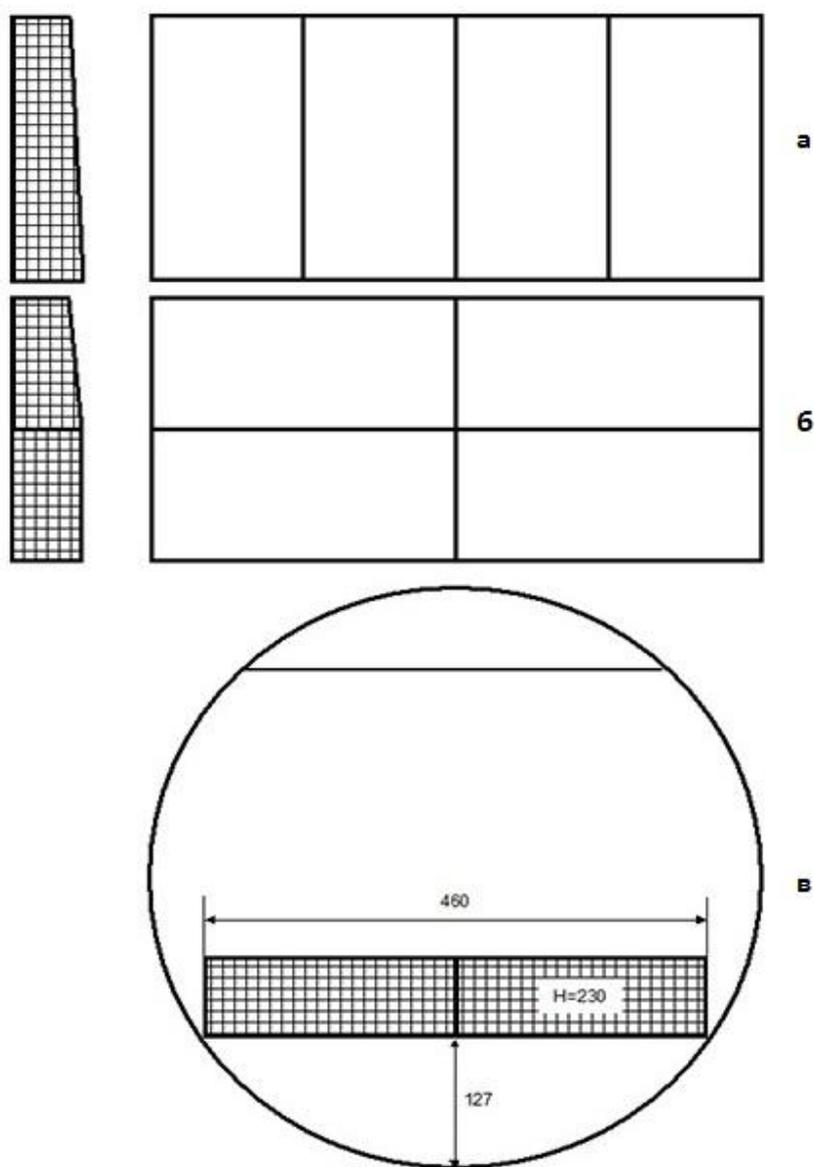
Перегородки из огнеупорных кирпичей имели два варианта типа конструкции:

1. С помощью четырёх кирпичей №23, сложенных в один ярус по вертикали, с учётом состыковки боковыми гранями, в позиции направленной с уклоном во внутреннюю часть полости реакционного кармана.
2. Первый ярус выполнен из двух кирпичей №5, а второй с помощью двух кирпичей №45, размещение также предусматривает их вертикальное

расположение и стыковку по боковым граням по горизонтали, а направление уклона – во внутреннюю полость реакционного кармана.

С внешней стороны кирпичи обмазывались специально приготовленной смесью, состоящей из муллитовой массы, глины и воды.

По результатам проведённых опытных работ данный вариант конструкции реакционного кармана был признан наиболее предпочтительным.



а, б – типы конструкций перегородок, в – вид сверху на футеровку ковша с перегородкой

Рисунок 20 – Схема перегородки на дне ковша из огнеупорных кирпичей

3.4 Контейнерное модифицирование

Последний четвёртый вариант конструкции ковша и исполнения реакционного кармана основан на замене привычного реакционного кармана на стальной контейнер с крышкой, который может вместить до 10 кг модификатора. Такая замена удобна для подъёма, а также в плане размещения модификатора в ковше. Сам контейнер по мере наполнения ковша жидким чугуном расплавится и запустит процесс модификации. Сущность предлагаемой технологии контейнерного модифицирования заключается в том, что контейнер с модификатором располагают на дне в носовой части ковша, непосредственно перед самой заливкой (рисунок 21), после чего ковш быстро наполняют расплавом, а струю обязательно держат в задней части ковша (рисунок 21). Необходимо соблюдать аккуратность при заполнении ковша, так как толщина стенок стального контейнера варьируется от 1,5 до 2,0 мм, и при случайном попадании раскаленного металла он очень быстро начнет расплавляться сам, что повлияет на скорость реакции взаимодействия лигатуры с расплавом чугуна (процесс будет проходить очень интенсивно). Однако при данном способе обработки расплава самая активная фаза реакции чугуна с лигатурой протекает более медленно, чем при базовом «сэндвич-процессе». Обработка расплава не сопровождается барботажем и интенсивным вскипанием.

Стоит отметить недостаток, связанный с более ранним завершением процесса сфероидизирующей обработки расплава, так как это необходимо для устранения эффекта «старения» действия модификатора (эффект модифицирования максимален в начале реакции и убывает со временем обработки). Недостаток в большом расходе модификатора (порядка 1,5% от массы расплава). Для сравнения у предыдущих способов расход модификатора находится в диапазоне 1,15-1,20% от массы металла.

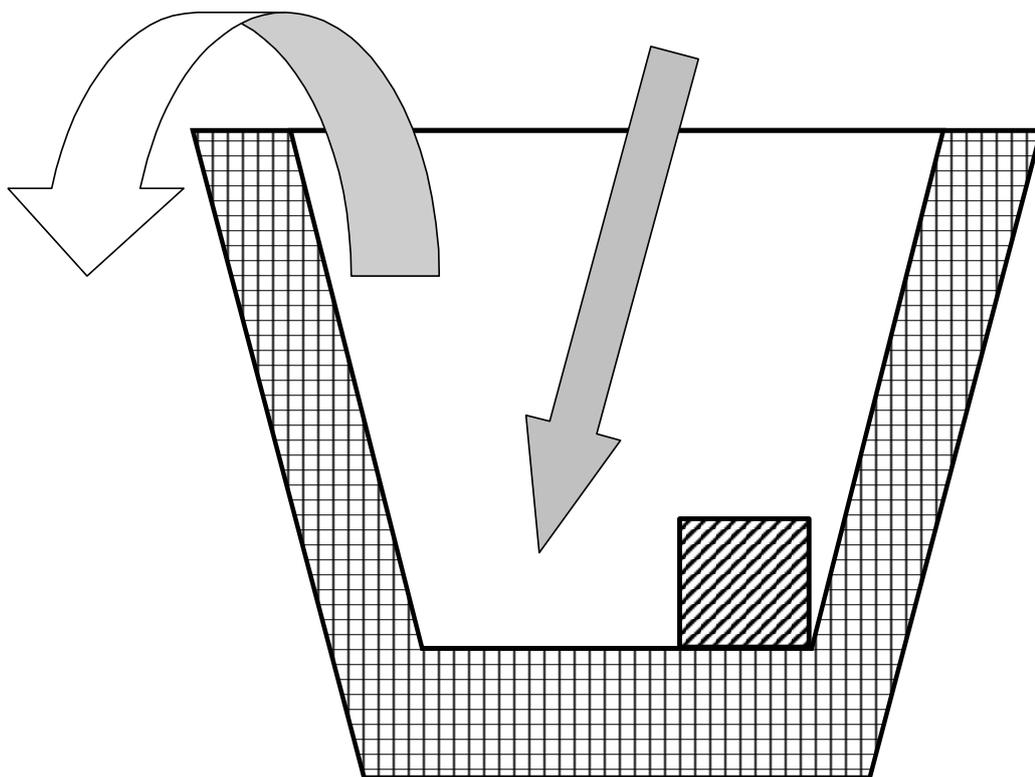


Рисунок 21 – Схема контейнерного модифицирования (вариант 4)

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика цеха 11/1 чугуно-литейного производства

Основные технологические этапы создания суппорта переднего тормоза из модифицированного чугуна включают в себя:

1. Шихтовку – шихту загружают по весу в бадьи и отправляют к печам
2. Плавку чугуна – чугун плавят сначала в одной печи, затем в другой с доводкой по химическому составу
3. Ковшовое модифицирование – расплав чугуна с проверенным химическим составом разливают по ковшам с модификатором, после чего берут клиновую пробу (качественный анализ модифицирования) и кокильную для лабораторного анализа химического состава
4. Заливку формы – после того как была взята клиновая проба и процесс модифицирования был успешно завершён, уже из модифицированного чугуна получают отливку (суппорт переднего тормоза), вырезка из которой будет служить стандартным образцом для механических испытаний

Таблица 5 Технологический паспорт цеха 11/1

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция	Наименование должности работника, выполняющего технологический операцию	Оборудование	Материалы
1	Шихтовка	Загрузка шихты в бадьи	Загрузчик шихты [21]	Мостовой кран	Шихта
2	Плавка чугуна	Дуплекс-процесс	Загрузчик - выгрузчик вагранок и печей [21]	Дуговые и индукционные печи	Расплав чугуна

Продолжение таблицы 5

3	Модифицирование	Ковшовое модифицирование	Литейщик металлов и сплавов [21]	Погрузчик, литейный ковш	Fe-Si-Mg лигатура, расплав чугуна
4	Заливка формы	Заливка формы суппорта переднего тормоза	Литейщик металлов и сплавов [21]	Подгрузчик, ковш, литейная форма	Модифицированный расплав чугуна

4.2 Идентификация профессиональных рисков

Таблица 6 Идентификация профессиональных рисков.

№п/п	Производственно-технологическая операция	Вредный производственный фактор	Источник производственного фактора
1	Загрузка шихты в бадьи	Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенный уровень шума на рабочем месте [22]	Шихтовые материалы (стружка, лом, возврат собственного производства)
2	Дуплекс-процесс	Повышенная температура воздуха рабочей зоны, Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны [22]	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 [22]	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 [22]	Ковш с расплавом чугуна

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 7 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 [22]	Рукавный фильтр, прямоточные мокрые пылеуловители, мокрый абсорбер, гидрофильтры, вытяжная вентиляция	Противоаэрозольное средство индивидуальной защиты органов дыхания
2	Повышенная температура воздуха рабочей зоны [22]	Система вентиляции, помещения для отдыха, система местного кондиционирования	Термофляги с прохладной водой
3	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов [22]	Разметка опасных и безопасных зон на производстве	Огнеупорная спец.одежда, рукавицы
4	Повышенная яркость света [22]	Инструктаж по охране труда	Защитные очки
5	Повышенный уровень шума на рабочем месте [22]	Шумоизолированные комнаты	Беруши, наушники.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Таблица 8 Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Цех 11/1	Разливочный ковш	D	Повышенная температура окружающей среды [23]	Опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара [23]

Таблица 9 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 (механизированный и немеханизированный)	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, диэлектрические ножницы	Автоматическая пожарная сигнализация

Таблица 10 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

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Таблица 11 Идентификация негативных экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-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 12 Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Цех 11/1
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

4.6 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.

5 Результаты исследования

Исследование качества металла отливок 2101-3501016/17 «Суппорт переднего тормоза», полученных с использованием 4-х способов модифицирования на основе «сэндвич-процесса», представлены в таблицах 13-15 и на рисунках 22-25.

5.1 Химический состав

Таблица 13 Ковшевой химический состав при 4-х опробованных способах модифицирования

Способ	Химический состав чугуна в ковше, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mg
1	3,59	2,87	0,53	0,017	0,005	0,060	0,26	0,45	0,017	0,054
2	3,63	2,66	0,53	0,020	0,005	0,053	0,33	0,52	0,018	0,055
3.1	3,63	2,63	0,54	0,019	0,005	0,054	0,33	0,51	0,018	0,051
3.2	2,61	2,86	0,53	0,020	0,005	0,054	0,33	0,51	0,018	0,043
4	3,63	2,61	0,53	0,019	0,005	0,053	0,33	0,51	0,018	0,054

Примечание. 3.1 – промежуточный (реакционный) ковш,
3.2 – разливочный ковш.

5.2 Микроструктура

Таблица 14 Результаты исследования микроструктуры материала опытных отливок

Способ		Анализ микроструктуры
1	1-я форма	Степень сфероидизации графита – 80%, перлитно-ферритная структура (85×15%), цементита – до 40%
	последняя форма	Степень сфероидизации графита – 70%, перлитно-ферритная структура (80×20%), цементита – до 40%
2	первая форма	Степень сфероидизации графита – 90%, структура – перлитно-ферритная (60×40%)
	последняя форма	Степень сфероидизации графита – 90%, перлитно-ферритная структура (50×50%)
3	первая форма	Степень сфероидизации графита – 70%, перлитно-ферритная структура (80×20%), цементит до 30%
	последняя форма	Степень сфероидизации графита – 70%, перлитно-ферритная структура (80×20%), цементит до 30%
4	первая форма	Степень сфероидизации графита – 90%, перлитно-ферритная структура (60×40%)
	последняя форма	Степень сфероидизации графита – 90%, перлитно-ферритная структура (60×40%)
Требования НД		Степень сфероидизации графита $\geq 90\%$, перлитно-ферритная структура

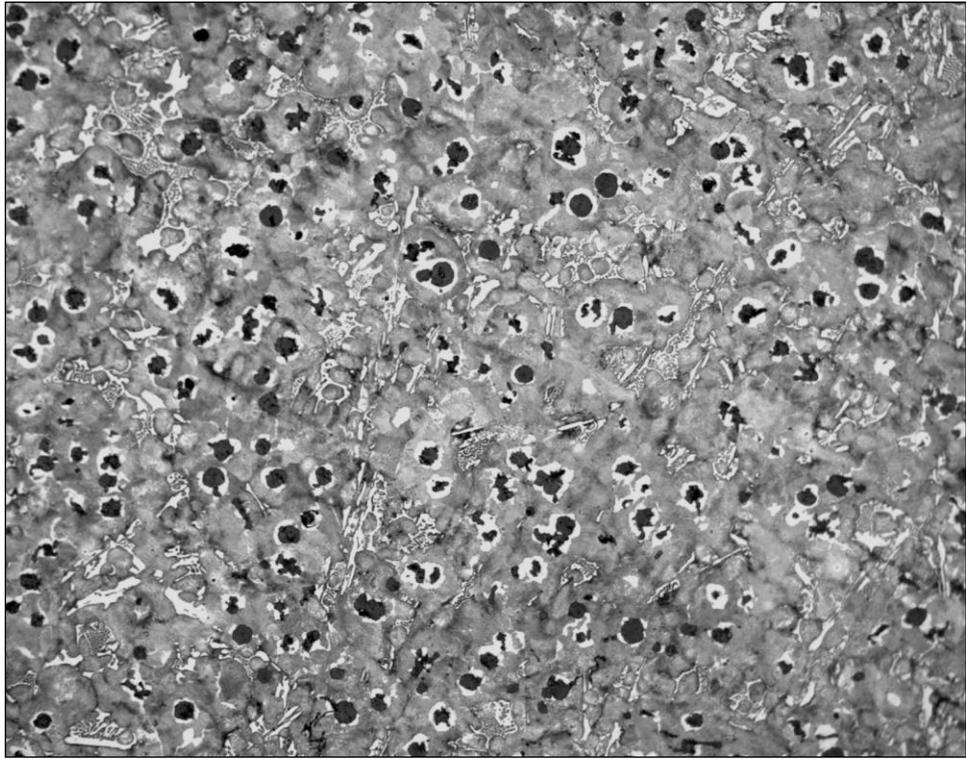


Рисунок 22 – Микроструктура чугуна Gh56-40-05 (способ 1) $\times 100$

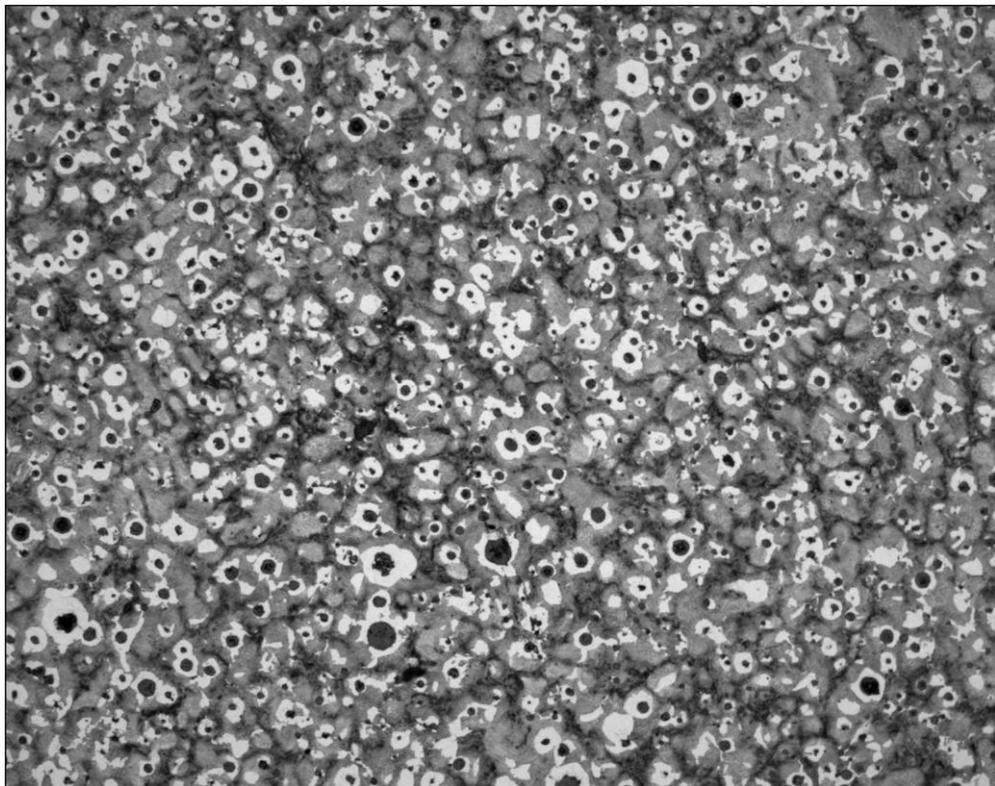


Рисунок 23 – Микроструктура чугуна Gh56-40-05 (способ 2) $\times 100$

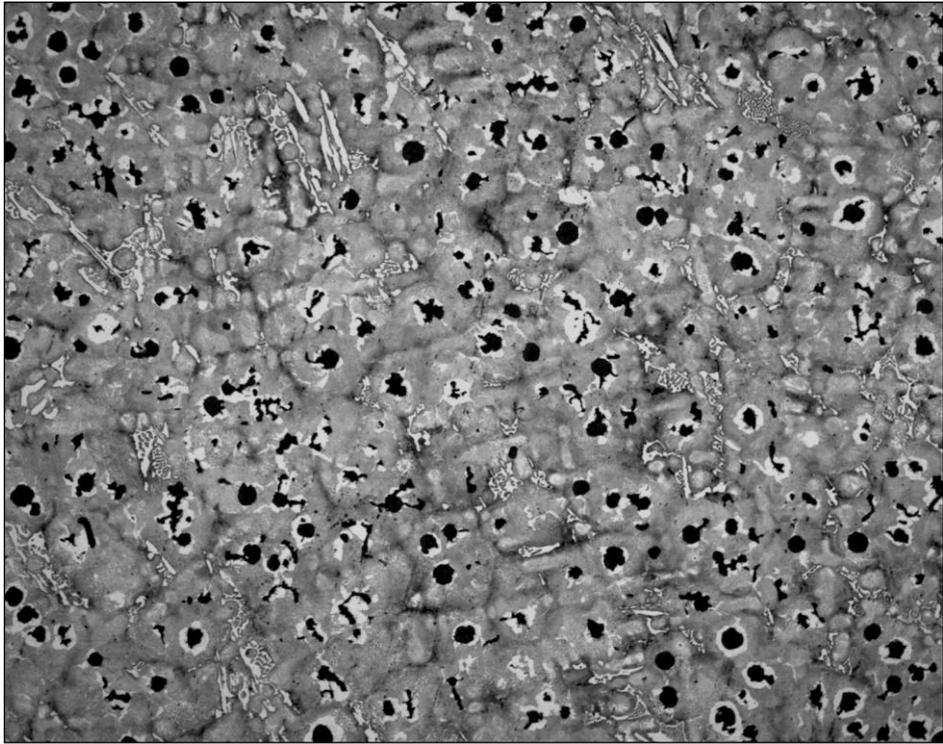


Рисунок 24 – Микроструктура чугуна Gh56-40-05 (способ 3) $\times 100$

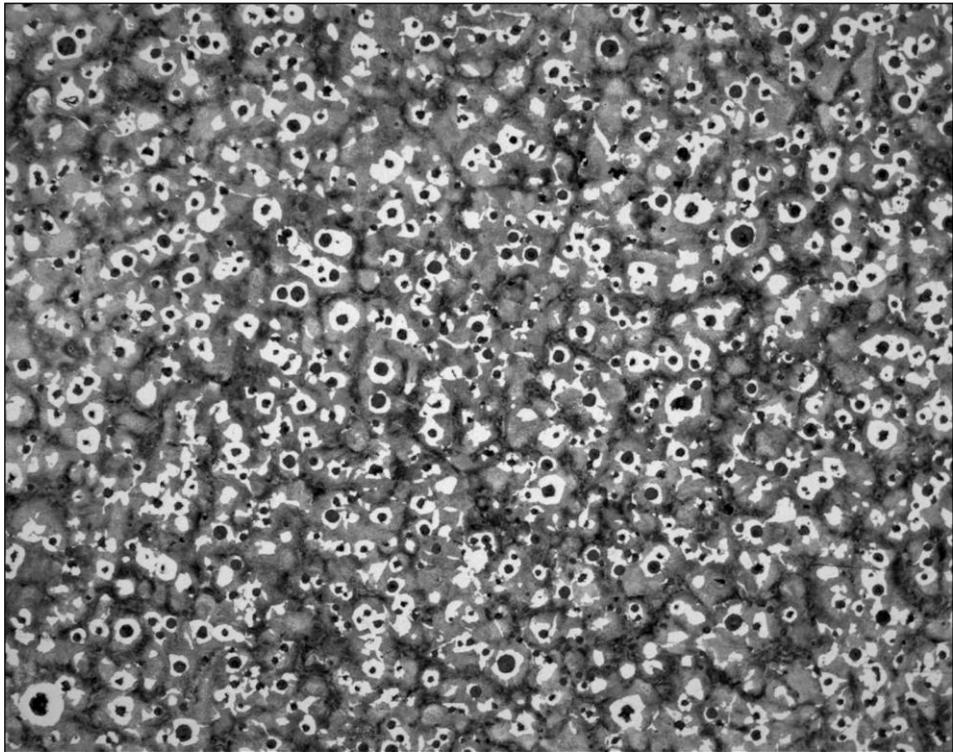


Рисунок 25 – Микроструктура чугуна Gh56-40-05 (способ 4) $\times 100$

Требуемая микроструктура и механические характеристики были обеспечены 2-м и 4-м вариантами модифицирования. Ввиду присутствия цементита и низкой степени сфероидизации графита, а также из-за высокой прочности и малому проценту относительного удлинения мы делаем вывод, что отливки из чугуна, обработанные по 1-му и 3-му варианту не соответствуют нормативным требованиям исходя из рисунков 22-25 и таблиц 13-15.

Отметим, что отливки, полученные по 2-му и 4-му варианту, оказались идентичными по своей структуре и свойствам. Благодаря чему высший приоритет для дальнейшей отработки был отдан контейнерному модифицированию (вариант 4), как оригинальному и наименее затратному способу.

5.3 Механические свойства

Таблица 15 Механические характеристики опытных отливок

Способ		Механические характеристики		
		Твёрдость по Бринеллю	Временное сопротивление, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %
1	1-я форма	285	77	3,6
	последняя форма	285	69	1,2
2	1-я форма	257	85	8
	последняя форма	255	79	6
3	1-я форма	269	75	2
	последняя форма	266	75	2,4
4	1-я форма	255	85	8
	последняя форма	269	84	8
Требования НД		180...250	min 56	min 5

Заключение

1. Разработаны и предложены к внедрению два варианта технологий модифицирования «лёгкой» лигатурой: модифицирование в стальном контейнере и «сэндвич»-процесс с подвариантами: карман в ковше с утолщённой подиной, карман-вставка из огнеупорного материала и карман на дне ковша, ограниченный перегородкой из огнеупорных кирпичей. Наиболее надёжным и приемлемым был признан подвариант «сэндвич»-процесса с карманом на дне ковша в виде перегородки из огнеупорных кирпичей.

2. Оптимизированы навески модификатора ФСМг6 и покровного материала – стальной нелегированной высечки. Для всех отливок деталей, полученные путём модифицирования по технологии «сэндвич-процесс» навеска модификатора и покровного материала составляют 14 и 7 кг соответственно.

3. Подобраны концентрационные диапазоны содержания основных легирующих элементов – марганца и меди (таблица 16) с целью обеспечения требуемых нормативно-технических показателей (характеристики микроструктуры и механические свойства).

Таблица 16 Концентрационные диапазоны основных легирующих элементов.

Отливка / Чугун	Mn	Cu+Ni
Суппорт переднего тормоза 2101-3511016/17 / Gh56-40-05	0,45...0,50	0,55...0,60

Список использованной литературы

1. Labrecque C. Ductile iron: fifty years of continuous development / С. Labrecque, M. Cagne // Canadian Metallurgical Quarterly. – 1998. – Vol. 37. – №5. – P. 343-378
2. Марукович Е.И. Литейные сплавы и технологии / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 442 с
3. Theuwissen K. Structure of graphite precipitates in cast iron / К. Theuwissen, J. Lacaze, L. Laffont // International Carbon Journal. – 2016. – V. 96. – №1. – P. 1120-1128
4. Hartung C. The continuing evolution of MgFeSi treatments for ductile and CG irons / С. Hartung, D. White, K. Copi, M. Liptak, R. Logan // International Journal of Metalcasting. – 2014. – Vol. 8. – №2. – P. 7-15
5. Патент 5167916 США. Method for spherodizing molten cast iron and ladle for use in the spherodizing / S. Hiroaki, Y. Takashi, N. Kiyotaka, S. Hiroo. Оpubл. 1.12.1992.
6. Патент 4391636 США. Method of and apparatus for the production of nodular (ductile) cast iron / M.W. Windish. Оpubл. 16.12.1981.
7. Большина, Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. Е.П. Большина. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с
8. Campbell J. Complete casting handbook: Metall Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design / J. Campbell // Elsevier. – 2011. – V.1. – P. 593-594
9. Давыдов С.В. Модифицирование графитизированных конструкционных чугунов / С. В. Давыдов, Д. А. Болдырев, В. М. Сканцев. – Брянск: БГТУ, 2015. – 113 с
10. Габерцеттель А. И., Коростиленко П. А. Библиотечка литейщика. Плавка и разливка чугуна. – Л.: Машиностроение – 1980. №9. – 104 с

11. Поддубный А. Н., Александров Н. И., Кульбовский И. К., Макаренко К. В. Выбор состава высокопрочного чугуна для получения мелющих шаров прокаткой и литьём в кокиль // Литейное производство. 1997. №5. С. 22
12. Бех Н. И. Эффективность применения отливок из высокопрочного чугуна в большегрузных автомобилях // Литейное производство. 1991. №7. С. 2–5
13. Лернер Ю. С., Таран Е. А., Сенкевич Ю. И., Соловьёв Л. Е. Технология получения высокопрочного чугуна за рубежом // Литейное производство. 1981. №6. С. 8–10
14. Волощенко М. В., Хубенов Г. Н. Барийсодержащие комплексные модификаторы для получения высокопрочного чугуна // Литейное производство. 1981. №12. С. 7–9
15. Ковалевич Е. В. Теоретические основы управления процессом модифицирования при получении чугуна с шаровидным графитом // Литейщик России
16. Нормаль FIAT-BAZ 52215 «Сводные таблицы материалов для автомобилестроения. Чугун со сфероидальным графитом»
17. ГОСТ 27611-88. Чугун. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. – Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007.– 122-130 с.
18. Стандарт предприятия СТП 37.101.9808-2006 «Отливки из чугуна с различной формой графитовых включений. Метод определения графитовых включений»
19. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю. – Введ. 1960-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007.– 39 с.
20. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – Введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001.– 22 с.
21. Постановления Госстандарта РФ от 26.12.1994 №367. [Электронный ресурс] <http://www.consultant.ru> (Дата обращения: 29.05.2017.)

22. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // www.consultant.ru

23. Федеральный закон от 22.07.2008 N 132-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»