

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Факультет «Материаловедения и металлургических технологий»  
Кафедра «Литейное производство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
д. т. н. профессор  
/Б. А. Кулаков  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Современный цех стального литья по номенклатуре АО "Копейский  
машзавод" на годовой выпуск 15000 тонн

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-22.04.02.2018.242.00.00 ПЗ ВКР

Нормоконтролер  
доцент, к.т.н.  
А.В. Карпинский  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Руководитель проекта  
проф., д.т.н.  
В.К. Дубровин  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Автор проекта  
студент группы  
П-242  
С.М. Афанасенко  
«\_\_»\_\_\_\_\_2019г.

Челябинск 2019



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ И МИРОВОГО УРОВНЯ .....	6
2 ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	21
2.1 Производственная программа.....	21
2.2 Структура проектируемого цеха .....	22
2.3 Режим работы проектируемого цеха и расчет фондов времени.....	22
2.4 Расчет основных отделений цеха .....	23
2.4.1 Плавильное отделение.....	23
2.4.2 Формодочно-заливочно-выбивное отделение... ..	35
2.4.3 Стержневое отделение.....	39
2.4.4 Смесеприготовительное отделение.....	44
2.4.5 Термообрубное отделение .....	48
2.5 Склады литейного цеха .....	52
2.6 Цеховые лаборатории, вспомогательные отделения и участки .....	56
2.7 Внутрицеховой транспорт.....	57
3 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ.....	58
3.1 Технические условия литой детали «Диск» .....	58
3.2 Анализ технологичности.....	58
3.3 Выбор способа изготовления отливки.....	59
3.4 Технология изготовления литейной формы.....	60
3.4.1 Выбор поверхности разъема и положения отливки в форме .....	60
3.4.2 Назначение припусков на механическую обработку... ..	61
3.4.3 Определение формовочных уклонов и радиусов закругления.....	63
3.4.4 Назначение и определение размеров прибылей.....	63
3.4.5 Разработка конструкции и расчет литниковой системы. ....	65
3.4.6 Определение размеров знаков стержня и назначение зазоров.....	69
3.4.7 Определение размеров опок .....	70
3.5 Технология сборки, заливки форм, выбивки и очистки отливок .....	71
3.5.1 Разработка технологии сборки и заливки форм .....	71
3.5.2 Выбивка и очистка отливок .....	71
3.6 Контроль качества отливок.....	72

4 РАФИНИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ ПРОДУВКОЙ ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ.....	73
4.1 Общие положение продувки металла инертными газами .....	73
4.2 Продувка металла аргоном .....	78
4.3 Организация участка продувки металла аргоном.....	81
4.4 Основные технологические решения при продувке металла аргоном в ковше, проверке и восстановлении работоспособности донной фурмы .....	82
4.5 Опасные производственные факторы на участке продувки металла аргоном.....	88
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	91
5.1 Общая характеристика литейного цеха .....	91
5.2 Анализ производственных, технологических и техногенных опасностей .....	92
5.3 Безопасность труда в литейном цехе .....	99
5.3.1 Безопасность веществ и материалов.....	99
5.3.2 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	100
5.4 Электробезопасность .....	101
5.5 Пожаровзрывобезопасность.....	101
5.6 Охрана окружающей среды .....	102
5.6.1 Очистка выбросов в атмосферу .....	103
5.6.2 Очистка производственных сточных вод.....	103
5.6.3 Обезвреживание и утилизация твердых отходов .....	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	105
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	106

## ВВЕДЕНИЕ

Литейное производство является основным способом производства заготовок для большинства отраслей промышленности. До 70 % всех заготовок (по массе) получают литьем, а в некоторых отраслях машиностроения, например, в станкостроении, это показатель достигает 95 %. Основным преимуществом литейного производства над другими заготовительными отраслями промышленности, например, такими как штамповка, ковка, является то, что конечные размеры заготовки наиболее приближены к размерам конечной детали, а также имеется возможность получения заготовки практически любой конфигурации и сложности. Минимизация припусков на обработку позволяет сокращать расходы на дальнейшую мех. обработку, что позволяет значительно снижать себестоимость конечного продукта. Во многом благодаря этому производство литых заготовок значительно более выгодно с экономической точки зрения, нежели производство обработкой давлением, например, производство поковок.

В настоящее время, центральное место в развитии литейного производства занимает его всеобъемлющая автоматизация, механизация и переход на безотходные высокоэкологичные процессы. В тоже время выбор того или иного способа производства отливок зависит от конечных требований, предъявляемых заказчиком к литым заготовкам. В последние годы наблюдаются тенденции к снижению припусков на механическую обработку, повышаются требования связанные с высокой геометрической точностью.

Целью настоящей работы является проектирование современного цеха серийного производства стальных отливок по номенклатуре АО «Копейский машзавод». При проектировании цеха основной упор сделан на применение современных, экологичных, высокопроизводительных технологических процессов и оборудования, поскольку задачами современного литейного производства является не только повышение качества и снижение себестоимости литья, но и снижение вредного влияния на окружающую среду.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

# 1 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ПРЕДЛАГАЕМЫХ И МИРОВОГО УРОВНЯ

Развитие литейного производства тесно связано с общими тенденциями развития промышленности, так как заготовительной основой наиболее крупных отраслей является литейное производство. В последние годы Российская Федерация находится не в лучшем экономическом состоянии, из-за чего наблюдается деградация промышленного производства. В начале двухтысячных годов объем производства отечественного литья находился на уровне 7 млн. тонн. В последующие годы имела тенденция к спаду производства по ряду причин: закрытие предприятие, снижение уровня квалификации персонала, экономические и политические кризисы в стране. Результатом всего этого стало нарушение научных связей в наукоемких областях промышленности с передовыми развитыми странами и как следствие упадок всей литейной отрасли в нашей стране. В связи с упадком отечественного литейного машиностроения увеличивается импорт литейного оборудования, но несмотря на неблагоприятные тенденции развития, российские литейщики являются важными игроками на мировом рынке литья, экспорт составляет порядка 30 тыс. тонн литья [1].

Основой литейного производства России являются небольшие цеха с объемом выпуска около 5000 тонн литья в год (77 %). В сфере литейного производства занято около 280 тыс. человек, из них 90 % рабочих, 4 % экономистов и менеджеров, 5,8 % инженерных и 0,2 % научных работников. На одного рабочего в 2016 году в среднем было выпущено 15 тонн отливок. По данным российской ассоциации литейщиков в 2016 году в литейном производстве насчитывалось до 1100 предприятий, которые выпустили порядка 4,2 млн. тонн литых заготовок из черных и цветных сплавов. Около 10 предприятий (в том числе и малых), специализируются на производстве литейного оборудования и запасных частей для него, до 50 предприятий заняты производством сопутствующих материалов для литейного производства: красок и покрытия, связующих материалы и

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

стабилизаторов, формовочных песков и глин, ферросплавов и лигатур предназначенных для модифицирования и легирования литейных расплавов [1].

Довольно низким продолжает оставаться уровень автоматизации отечественного литейного производства: так до 10 % литья производится ручными методами, механизированы порядка 66 % линий, на автоматических и полуавтоматических линиях получают 24 % литья.

При всем при этом литые заготовки наиболее целесообразны с экономической точки зрения во многих отраслях промышленности.

В таблице 1.1 представлена динамика производства отечественного литья с 1985 по 2016 гг по видам сплавов.

Таблица 1.1 – Производство отливок на территории России по годам

Годы	1985	2000	2006	2012	2014	2016
Годное литье, млн. т	18,5	4,8	7,6	3,9	4,1	4,2
Чугун	12,9	3,5	5,2	2,9	2,9	3,0
Сталь	3,1	0,9	1,3	0,6	0,7	0,8
Цветные сплавы	2,5	0,4	1,1	0,4	0,5	0,5

С целью повышения конкурентоспособности российских производителей литья необходима постоянная модернизация и оптимизация производственных и технологических процессов, так как современное литье должно основываться в первую очередь на принципиально новых, передовых технологиях, решениях, гарантирующих повышение уровня автоматизации технологических процессов. В таблице 1.2 показано распределение мощностей российских предприятий по объему выпуска, числу работающих в цехах [1].

Таблица 1.2 – Анализ состояния литейного производства России по мощностям и объему выпуска отливок

№	Объем производства(т/год)	Кол-во человек на предприятии	Кол-во предприятий	%	Примечания
1	50000...100000	2000...3000	12	1	Цехи автозаводов, оборонный комплекс
2	10000...50000	500...2000	84	6,7	Цехи крупных машиностроительных заводов
3	5000...10000	200...500	180	14,4	Цехи машиностроительных заводов
4	1000...5000	50...200	430	34,4	Цехи машиностроительных предприятий
5	Менее 1000	50...100	544	43,5	Мелкие цехи различного назначения

Из таблицы 1.2 можно сделать вывод о том, что основными литейными предприятиями являются небольшие цеха с количеством работающих до 200 человек. Распределение производства отливок в России по видам технологических процессов отражено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Производство отливок в РФ в зависимости от тех. процессов

Метод изготовления отливок	%
Литье в ПГФ	46,0
Литье в разовые формы из ХТС	32,0
Литье под давлением	8,0
Литье в кокиль	5,0

Окончание таблицы 1.3

Метод изготовления отливок	%
Центробежное литье	5,0
Литье по выплавляемым моделям	1,5
Литье по газифицируемым моделям	0,8
Непрерывное литье	0,8
Литье в оболочковые формы	0,5
Другие способы литья	0,4

Распределение производства отливок по отраслям промышленности в РФ представлено на рисунке 1.1.

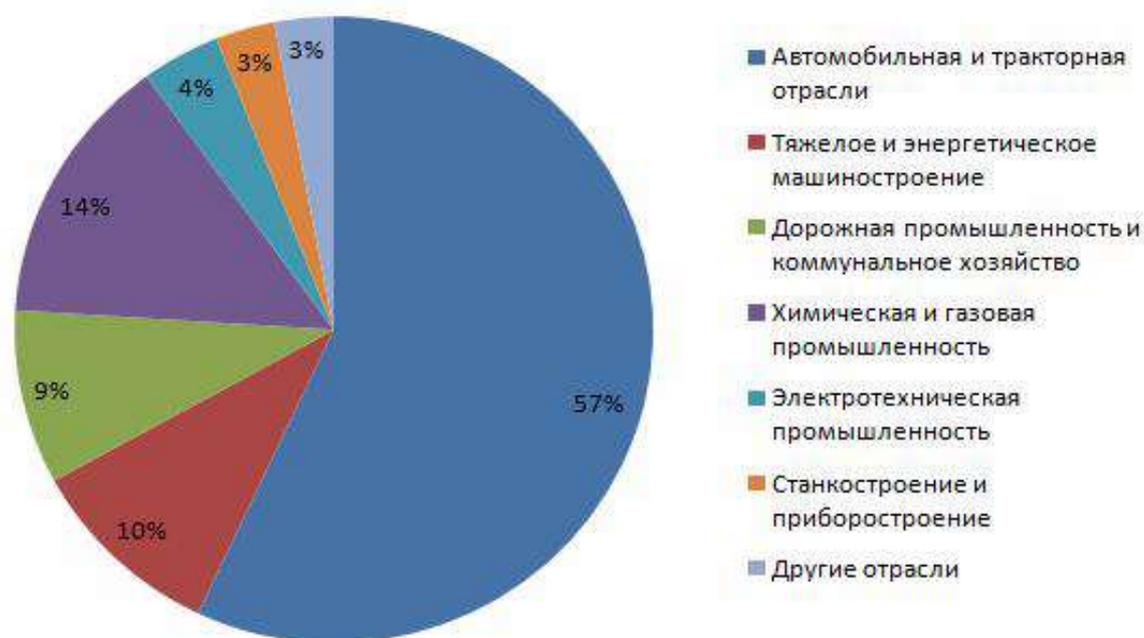


Рисунок 1.1 – Производство литья по отраслям промышленности в 2016 г в РФ

В мировом литейном производстве в последние годы наблюдаются тенденции к всеобъемлющей автоматизации и модернизации технологий, разрабатывается новое технологическое оборудование, совершенствуются технологические процессы. Внедрение современных технологий приводит к повышению качества литых изделий, повышается производительность, уменьшается уровень брака,

увеличивается производительность, во многом благодаря этому литейное производство сохраняет лидерство среди заготовительных производств [1].

На рисунке 1.2 показано распределение производства отливок в зависимости от страны происхождения. Из рисунка следует, что ведущее место в производстве литья занимает Китай, Россия располагается на шестом месте.

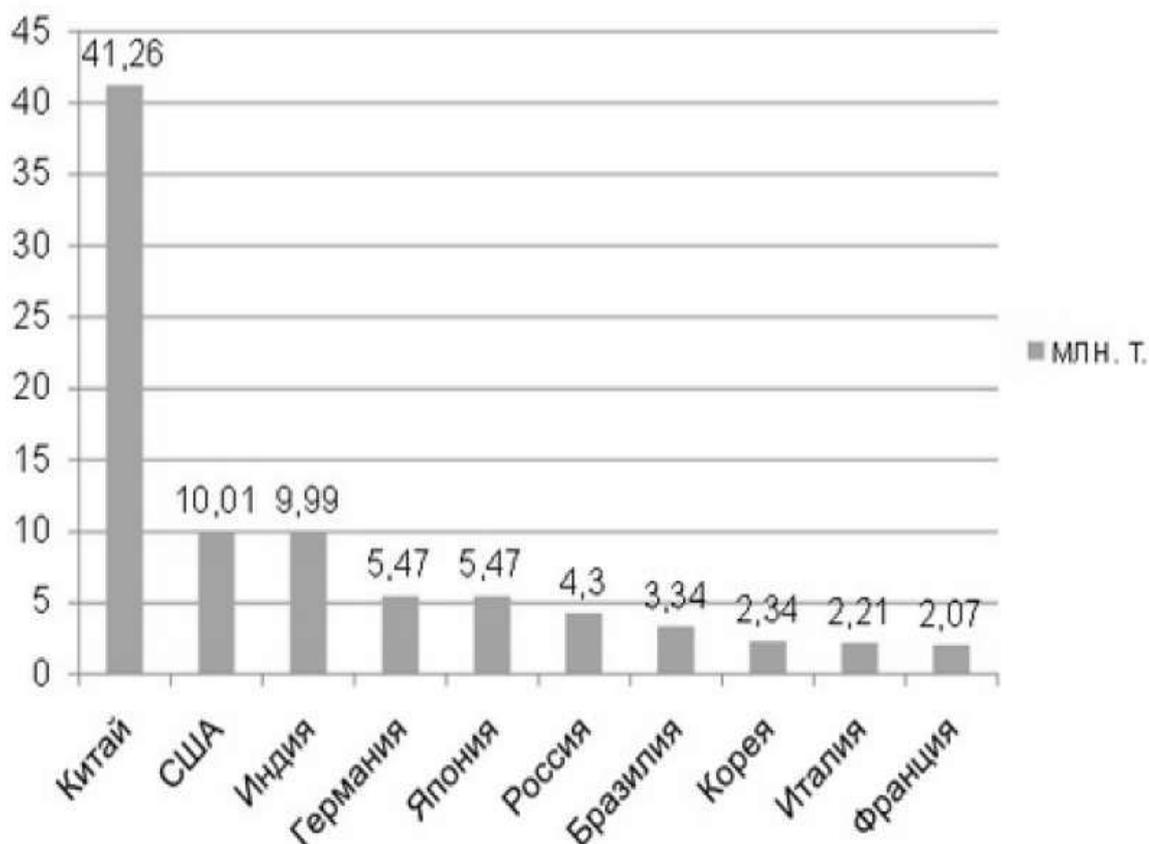


Рисунок 1.2 – Выпуск отливок по странам в 2015 г.

На сегодняшний день в России работают ряд предприятия, выпускающих литейное оборудование, наиболее крупными являются: АО «Сиблитмаш», «Литмашприбор», АО «Амурлитмаш». Современное печное оборудование производят: ЗАО РЭЛТЕК», г. Екатеринбург, ООО «Курай» г. Уфа, АО «Новозыбковский завод электротермического оборудования», и некоторые другие. Стоит отметить, что мощности отечественного литейного машиностроения не в силах удовлетворить нужд литейного производства. В РФ не производится следующее оборудование:

- 1) стержневые автоматы и машины, работающие по холодной и горячей оснастки;
- 2) автоматизированные линии для изготовления безопочных форм по ПГС и ХТС;
- 3) кокильные машины;
- 4) смесители периодического и непрерывного действия для приготовления ХТС производительностью более 10 т/час;
- 5) машины безопочной формовки;
- 6) специальное оборудование для покраски литейных форм;
- 7) регенерирующее оборудование для песчано-смоляных смесей.

Поэтому, литейные предприятия вынуждены закупать недостающее оборудование в основном из таких стран как: Германия, Китай, Италия, США, Япония, Великобритании. В 2014 году импорт литейного оборудования и запасных частей составил около 645,4 млн. долларов США. По сравнению с 2013 годом импорт оборудования сократился на 54,6 млн. долларов США. Следует отметить, что до 70 % всего литейного оборудования российскими предприятиями закупается за границей. Динамика импорта литейного оборудования с 2007 по 2014 гг. в млн. долларов США представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Импорт литейного оборудования в млн. долларов США по годам

2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
833,1	948,1	632,2	521,3	636,2	700,1	700,0	645,4

Наиболее важными для отечественных производителей литья являются следующие иностранные партнеры: Германия, Италия, Китай, США. В таблице 1.5 представлено распределение поставок литейного оборудования в зависимости от страны производителя в 2013 г.

Таблица 1.5 – Поставки литейного оборудования из ведущих стран мира в 2013 году

№	Страна	Стоимость оборудования (млн. дол. США)
1	Германия	522
2	Италия	245
3	Китай	176
4	США	83
5	Великобритания	48
6	Турция	39
7	Франция	32

Из таблицы 1.5 можно сделать вывод о том, что главными экспортерами литейного оборудования в РФ являются Германия, Италия, Китай [1].

Развитие литейного производства, как одной из наиболее наукоемких, энергоемких, материалоемких отраслей промышленности во многом зависит от грамотно выстроенного взаимодействия научной и производственной сфер. Последние научные разработки, направленные на усовершенствование технологических процессов литья, применение нового оборудования и материалов, привели к достижению следующих результатов:

- 1) увеличение прочностных и эксплуатационных характеристик сплавов в литом состоянии до 15 %
- 2) повышение геометрической и как следствие размерной точности отливок;
- 3) уменьшение припусков на мех. обработку;
- 4) повышение конкурентоспособности и эксплуатационных свойств готовых отливок.

Экологичность литейного производства занимает важное место при выборе тех или иных технологических процессов, так как в современных реалиях проблема сохранения окружающей среды стоит наиболее остро. Исходя из этого наблюдаются следующие тенденции в развитии литейного производства:

- 1) отказ от органических связующих при формообразовании (переход на жидкостекольные и песчано-глинистые смеси взамен песчано-смоляных);
- 2) применение высокопроизводительных способов изготовления стержней (Cold-box-amin процесс,  $\beta$ -set процесс);
- 3) применение антипригарных покрытий наводной основы (отказ от быстросохнущих спиртовых покрытий).

Следует отдельно остановиться на наиболее распространенных процессах формо- и стержнеобразования, применяемых на современных предприятиях литейной промышленности.

В цехах мелкого и среднего литья наибольшее распространение нашел Seiatsu процесс формообразования, который обеспечивает высокие технологические свойства форм при хороших экологических показателях. Seiatsu процесс в своей основе имеет уплотнение формовочной смеси посредством воздушного потока с последующей подпрессовкой многоплунжерной головкой. Подмодельные плиты оснащены специальными отверстиями для выхода воздуха – вентами. Основными преимуществами данного способа формообразования по сравнению с традиционными методами (встряхивание, прессование) являются: оптимальный уровень уплотнения формовочной смеси по всему объему формы, более высокий уровень автоматизации, меньшее расстояние между моделями на подмодельных плитах, более высокая размерная точность. Основным производителем оборудования, работающего по Seiatsu процессу является немецкая фирма HWS-Sinto. С 1983 года на всех линиях изготовления сырых песчаных форм HWS используется только этот способ. В течение этого времени было поставлено около 550 опочных линий на предприятиях по всему миру, что доказывает качество и надежность оборудования и технологии HWS [7]. На рисунке 1.3 приведен график сравнения твердости форм в зависимости от высоты формовочной смеси и способа уплотнения.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

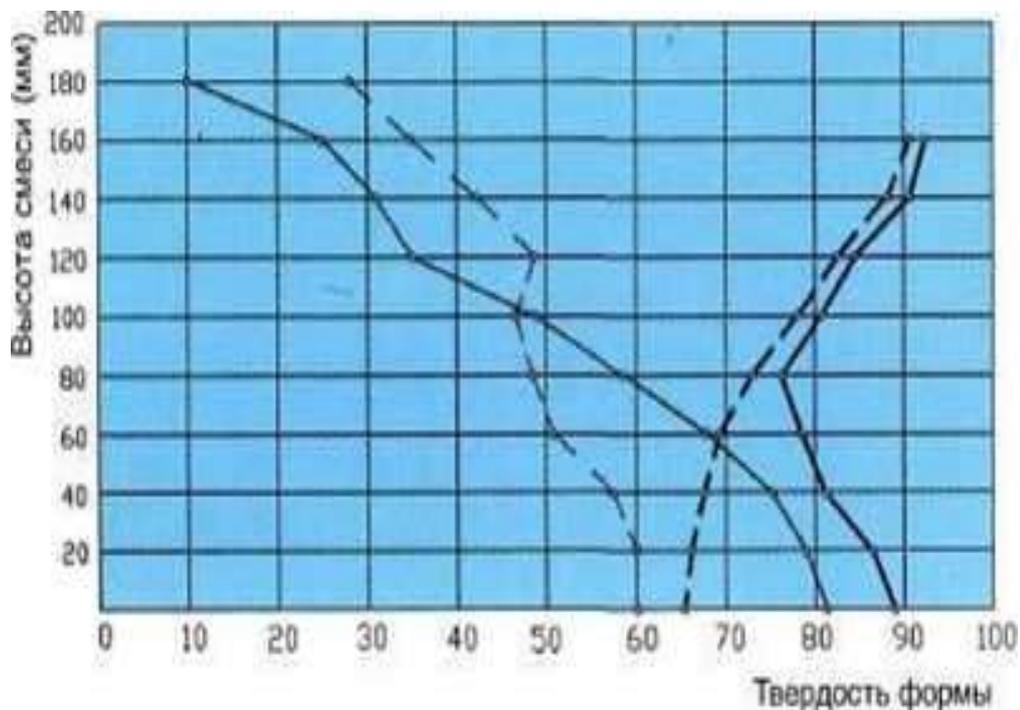


Рисунок 1.3 – График сравнения твердости форм в зависимости от способа уплотнения: тонкая пунктирная – встряхивание; тонкая сплошная – встряхивание с подпрессовкой; жирная пунктирная – пескодувный способ (уплотнение воздушным потоком); жирная сплошная – уплотнение воздушным потоком с последующей подпрессовкой (Seiatsu процесс)

Для производства мелкосерийных и единичных отливок различной конфигурации и массы в последнее время наибольшее распространение находит вакуум-пленочная формовка, известная также как V-процесс. Технология вакуумно-пленочной формовки предназначена для изготовления литейной формы только из наполнителя (сухого песка) без связующего. Данный способ формообразования довольно универсален и подходит как для изготовления массивных форм, так и для производства легковесных художественных изделий. Диапазон размеров получаемых изделий по вакуум-пленочной формовке колеблется от нескольких десятков миллиметров до 10 метров. Процесс формообразования основан на использовании сухого кварцевого песка или другого наполнителя и синтетической этиленвинилацетатной или другой пленки, главное преимущество заключается в том, что в технологии отсутствует

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

14

связующий компонент. Зерна наполнителя связаны силой вакуума. Данный процесс формообразования насчитывает около 20 лет крупного промышленного использования. Применение вакуум-пленочной формовки позволяет решать целый ряд проблем литейного производства: уменьшается загрязнение окружающей среды, достигается экономия формовочных песков, других материалов и энергии [7].

Тех. процесс состоит из ряда последовательных операций. Сначала на металлическую модельную плиту прикрепляют модели отливки и литниковой системы. Плиту с моделями устанавливают на вакуумную коробчатую камеру (ресивер), которая с помощью патрубка подключается к насосу, создающему технический вакуум. Модельную плиту накрывают полиэтилен-полиацетатной пленкой (0,1 мм). При этом пленка нагревается до пластичного состояния посредством конвективного нагрева (применяют газовый или электрический нагрев, либо обдув горячим воздухом). Далее включается вакуумный насос, который создает разрежение в вакуумной камере и пленка плотно обтягивает модель и подмодельную плиту. Затем на плиту устанавливают коробчатую опоку, подсоединенную с помощью патрубка к вакуумному насосу через отверстия, находящиеся на внутренних стенках опоки.

В опоку насыпают смесь сухого песка с различным размером зерен и уплотняют его за счет вибрационного воздействия. Затем выравнивают верхнюю поверхность полуформы, удаляя линейкой излишек песка, до получения горизонтальной поверхности. Верхнюю, выровненную поверхность накрывают не нагретой пленкой и включают вакуумный насос. Песок, находящийся в коробчатой опоке, плотно сжимается вакуумом между пленок. Затем, не выключая насоса, создающего вакуум в верхней опоке, сбрасывают вакуум в вакуумной камере (ресивер), снимают верхнюю опоку с модельной оснастки и приступают к формовке второй полуформы аналогичным способом. По окончании формовки окрашиваются антипригарными покрытиями будущие поверхности литых изделий в верхних полуформах.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

Затем приступают к заливке собранных форм (заливка осуществляется так же под вакуумом). Заливка осуществляется через литниковую чашу, установленную на полуформе верха. Для предотвращения выхода жидкого металла по разьему формы, осуществляют нагружение верхней полуформы. По окончании затвердевания отливки отключают вакуумный насос, после чего формовочный песок разупрочняется, и отливка транспортируется на обрубной участок цеха. В дальнейшем песок вновь используют при формовке.

Главным недостатком вакуум-пленочной формовки является её низкая производительность 5...6 форм/час. Однако этот процесс имеет преимущества по сравнению с другими технологиями формовки, при которых металл заливают в разовые формы: отсутствует формовочная смесь (применяется сухой песок); отсутствует необходимость организации смесеприготовительного отделения; исключается применение связующих материалов и упрощается операция выбивки и очистки отливок; в качестве моделей имеется возможность использовать художественное изделие, т. к. пленка, участвующая в формообразовании, легко повторяет практически любой профиль художественного изделия.

К недостаткам вакуум-пленочной формовки относят низкую производительность процесса, а также необходимость обеспечения высокой технологической дисциплины при производстве отливок. Применение вакуумного оборудования требует специалистов высокой квалификации. Операция нагрева пленки до 100 °С выдвигает ряд требований к деструкции пленочных материалов (преимущественно при вакуумной формовке применяются пленки из полиэтилена, полипропилена, полистирола и поливинилацетата), приводящей к образованию пригара и попаданию в отливку включений песка. В качестве огнеупорных антипригарных покрытий используют тальк, графит, циркон, растворенные в изопропанол, этаноле или метаноле. При применении изопропанола требуются повышенные требования к технике безопасности, что тоже следует отнести к недостаткам процесса. На рисунке 1.4 показана схема вакуум-пленочной формовки.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

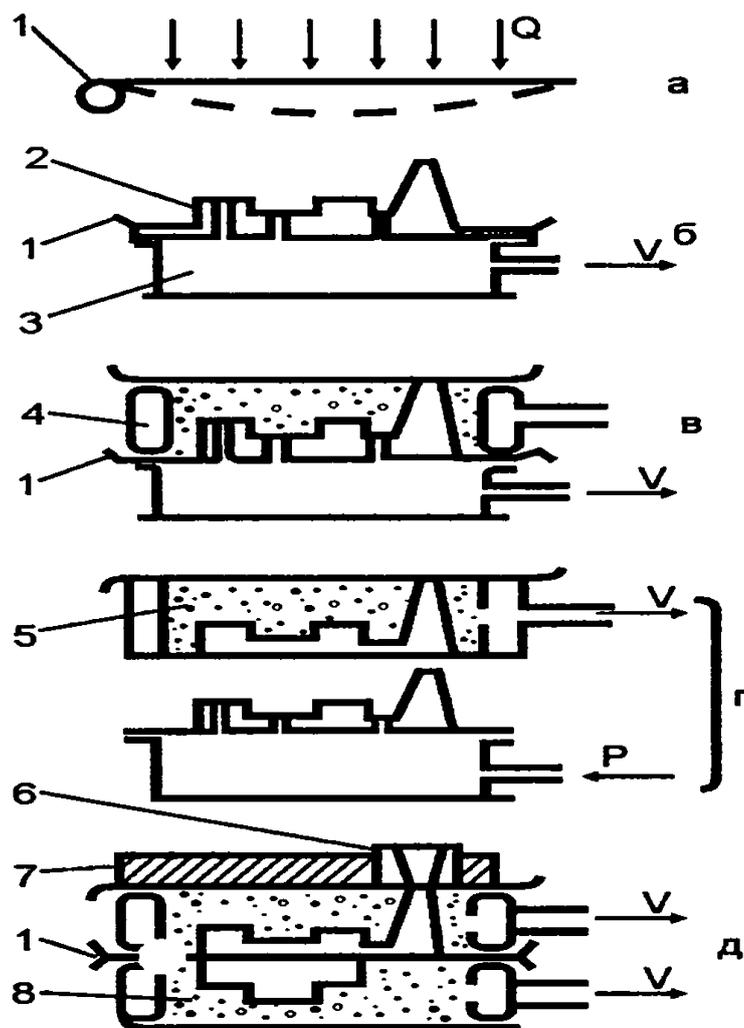


Рисунок 1.4 – Схема вакуум-пленочной формовки: 1 – пленка; 2 – модельная плита; 3 – ресивер; 4 – коробчатая опока; 5 – заформованная опока; 6 – литниковая чаша; 7 – груз; 8 – песок, находящийся под вакуумом

Для крупносерийного и массового производства мелких отливок в развитых странах большое распространение получила безопочная формовка с вертикальным и опочная с горизонтальным разъемом в ПГС. Лидером в этой области является итальянская фирма Savelli [2]. Процесс формообразования представляет двухстороннее прессование, получившее запатентованное название «Formipress», которое состоит из следующих этапов:

- 1) дозировка смеси через взвешивающий бункер формовочной машины;
- 2) подъем стола с модельной плитой и опокой;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

17

- 3) загрузка смеси в опоку через бункер с блоком затвора;
- 4) позиционирование многоплунжерной головки над опокой;
- 5) выравнивание смеси;
- 6) подъём стола с модельной плитой и опокой в верхнее положение (предварительное уплотнение смеси с периферийной стороны формы);
- 7) подъём модельного стола (происходит процесс нижнего прессования).
- 8) активное нажатие сверху при помощи дифференцируемой многоплунжерной головки (происходит процесс верхнего прессования).
- 9) опускание стола с модельной плитой и опокой (отделение формы от модели);
- 10) полное опускание стола (опока с формой устанавливается на ролики конвейера для передачи на следующие технологические участки).

В России в последние годы наблюдается тенденция перехода от песчано-глинистых на холоднотвердеющие песчано-смоляные смеси. Технологические процессы, основанные на применении холоднотвердеющих смесей, занимали одно из ведущих мест в производстве отливок в последние 30 лет, но в связи с низкой экологичностью в последнее десятилетие происходит отказ от применения ХТС смесей и замена органических связующих на неорганические. Процессы холоднотвердеющей формовки используют при изготовлении отливок различной конфигурации из различных сплавов, они могут быть адаптированы к различным требованиям по производительности, качеству (включая чистоту, размерную и массовую точность, товарный вид и др.), экологическим и климатическим условиям, квалификации персонала. Сущность процесса заключается в том, что песок смешивается со смолой (0,6...2 %) и отвердителем, полученный состав упрочняется без внешнего воздействия, за счет химической реакции между смолой и отвердителем, с образованием твердой фазы, скрепляющей частицы песка между собой. В смесь так же добавляют катализатор, для изменения времени отверждения, и специальные добавки, для придания особых свойств, например, улучшения выбиваемости. В этом заключается отличие от смесей, упрочняющихся при тепловой обработке в сушилах или по нагретой оснастке.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Наибольшее распространение получили два основных процесса изготовления ХТС:

- 1) альфа-сет-процесс – фенольно-щелочная смола, отверждаемая смесью органических эфиров;
- 2) фуран процесс – фурановые смолы, отверждаемые органическими кислотами.

Альфа-сет-процесс изготовления форм и стержней позволяет использовать пески различной природы (кварц, оливин, хромит), фуран процесс применим преимущественно при формовке по кварцу. Преимущества ХТС по сравнению с ПГС: качество поверхности, устранение дефекта ужима и просечка, малое газовыделение, сохранение на длительный период прочностных свойств, не требует уплотнения и внешнего воздействия для отверждения. Недостатки ХТС: высокая стоимость материалов, высокие требования к температуре песка и температуре окружающего воздуха, высокие требования к качеству материалов, трудоемкая чистка оборудования, низкая экологичность.

В производстве стержней наблюдается тенденция перехода на высокоавтоматизированные процессы взамен устаревшему процессу формовки в нагреваемой оснастке, в связи с тем, что этот процесс имеет значительные недостатки:

- 1) повышенные капитальные затраты на энергоносители;
- 2) сложность и недолговечность оснастки;
- 3) низкая экологичность процесса;

Недостатки Hot-box процесса (по нагреваемой оснастке) стали толчком для развития технологий изготовления стержней. Наибольшее распространение получили технологии отверждения стержней холодным способом, за счёт введения химических отвердителей. К таким способам относят: Beta-set, Resol-CO<sub>2</sub>, Rep-set, Cold-box-amin процессы. На сегодняшний день до 80 % всех стержней в мире изготавливают по Cold-box-amin процессу. Альтернативные Cold-box-amin процессу способы производства стержней не получили такого распространения из-за их более низкой производительности и более низких прочностных характеристик готовых стержней, что очень важно для

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

автоматизированного производства, к которому стремятся все современные предприятия [2].

Также необходимо отметить, что в связи с повышающимися требованиями к готовому литью в мировом литейном производстве все чаще используются агрегаты внепечного рафинирования расплавов. Наиболее часто используют агрегаты модифицирования, вакуумирования и продувки инертными газами. Применение агрегатов внепечного рафинирования позволяет снижать уровень брака литых изделий и повышать механические и эксплуатационные свойства.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что для вывода литейной отрасли на путь развития необходима глубокая модернизация и по возможности реконструкция мощностей отечественных заводов. Те предприятия, которые справляются с этой задачей, как правило достигают коммерческого успеха. Благодаря реконструкции имеющихся и строительству современных цехов можно достичь высокого качества годного литья, отвечающего современным требованиям заказчика, добиться улучшения экологической ситуации и условий труда рабочих. В последние годы глубокую реконструкцию и модернизацию претерпели около 100 литейных участков и цехов по всей России. Также отмечается тенденция к установке на отечественных предприятиях автоматизированных формовочных линий (с 2012 по 2014 гг. установлено около 30 линий). Перспективным является внедрение индукционных и дуговых печей постоянного тока для выплавки чугуна и стали в литейных цехах, что улучшает качество расплавов по химическому составу, а также повышает экономическую эффективность литейного производства. Анализ производства литья за последние годы не позволяет говорить о том, что отрасль вышла на путь развития, поэтому перспективы развития литейного производства в РФ весьма туманны. Для развития литейной отрасли в первую очередь необходимо восстанавливать связи науки и производства. К положительным сторонам развития литейной отрасли в России можно отнести стабилизацию объемов производства отливок за последние пять лет, повышение качества литья, повышение размерной точности.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

## 2 ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Производственная программа

В соответствие с заданием разработана точная производственная программа цеха, представленная в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Точная производственная программа

№ отливки	Наименов. отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Годовая прогр., шт.	Масса отливки на годовую программу, т
1	Плита	35Л	107	9608	1028,1
2	Крышка	35ХГСЛ	75	11502	862,7
3	Водило	35ХГСЛ	40	10014	400,6
4	Стакан	35Л	71	19707	1399,2
5	Лапа правая	35ХГСЛ	78	16801	1310,5
6	Фланец	35Л	100	15504	1550,4
7	Полумуфта	35Л	60	11512	690,7
8	Водило	35ХГСЛ	70	12014	841,0
9	Траверса	35Л	110	14710	1618,1
10	Кольцо	35ХГСЛ	65	12818	833,2
11	Крышка опоры	35Л	85	10008	850,7
12	Вилка	35Л	42	12011	504,5
13	Кронштейн	35Л	95	11011	1046,0
14	Диск	35Л	54	16872	911,1
15	Крышка	35Л	58	19887	1153,4
	Всего				15000,0

## 2.2 Структура проектируемого цеха

В структуру проектируемого литейного цеха входят основные производственные и вспомогательные отделения, а также служебные, бытовые и складские помещения.

Задачей основных производственных отделений является выполнение основных тех. процессов, таких как приготовление расплава, изготовление форм и стержней. К производственным отделениям относят: плавильное, формовочно-заливочно-выбивное, стержневое, обрубное, которое включает в себя отдельные участки обрубки, очистки, термообработки, исправления дефектов и грунтовки.

К вспомогательным отделениям относят те участки цеха, которые обеспечивают работоспособность производственных отделений, к ним относят: отделение подготовки формовочных и шихтовых материалов, ремонтно-механическую службу, участок восстановления и ремонта ковшей и литейной оснастки, цеховые лаборатории [2].

Складские помещения служат для хранения шихтовых, формовочных материалов, огнеупорных изделий, литейной оснастки, годных отливок.

## 2.3 Режим работы проектируемого цеха и расчет фондов времени

Проектируемый цех является цехом крупносерийного производства. Для таких цехов рекомендуется параллельный режим работы, при котором все основные технологические операции выполняются одновременно на различных участках. Центральное место проектируемого цеха занимает автоматическая формовочная линия фирмы HWS (способом формообразования является Seiatsu процесс), в которой реализуется параллельный режим работы цеха. Для цеха установим двухсменный режим работы. Согласно трудовому законодательству продолжительность рабочей недели одной смены составляет 40 часов. Определим календарный, номинальный и действительный фонды времени одного рабочего:

1)  $\Phi_K = 8760$  ч/год (количество часов в году);

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

2)  $\Phi_H = 2085$  ч/год;

3)  $\Phi_D = 1840$  ч/год.

Действительные годовые фонды времени оборудования всех участков с учетом потерь времени представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Действительные фонды времени работы оборудования

Тип оборудования	Количество смен в сутки	Номинальный фонд времени, ч	Потери времени, %	Действительный фонд времени, ч
Оборудование плавильного участка	2	4036	4	3875
Оборудование формовочного отделения	2	4036	12	3552
Оборудование стержневого отделения	2	4036	6	3794
Оборудование смесеприготовительного отделения	2	4036	5	3834
Оборудование термообрубного отделения	2	4036	5	3834

Третья смена служит для проведения ремонтных и наладочных работ оборудования, также работает участок термообработки отливок ( $\Phi_D = 5751$  ч/год).

## 2.4 Расчет основных отделений цеха

### 2.4.1 Плавильное отделение

Основными плавильными агрегатами для приготовления литейных расплавов служат дуговые электропечи постоянного тока. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с печами переменного тока:

- 1) снижение расхода графитизированных электродов до 1,5 кг/тонну жидкого металла;
- 2) снижение угара металла на 2...4 % (увеличение выхода годного);
- 3) снижение количества пылевых выбросов в 6...8 раз;
- 4) снижение уровня шума на 15...20 дБ (то есть до санитарных норм);
- 5) высокий коэффициент мощности (до 0,95);
- б) интенсификация плавки за счет смещения подовых электродов относительно сводового электрода (перемешивание в ванне расплава).

При приготовлении литейных расплавов методом переплава используются чистые шихтовые материалы (особенно по сере и фосфору), поэтому восстановительный период плавки отсутствует, что дает возможность использования более дешевой кислой футеровки. Если же шихта загрязнена, то всегда имеется возможность воспользоваться основной футеровкой, благодаря которой становится возможен восстановительный период плавки и как следствие десульфурация и дефосфорация стали. Возможность использования различной степени чистоты шихты, безусловно также является важным преимуществом дуговых электропечей по сравнению с индукционными. Основные недостатки дуговых печей постоянного тока: капитальные затраты на печь постоянного тока выше по сравнению с печами, работающими на переменном токе, суммарный расход электроэнергии практически одинаков, требуется более тщательная подготовка шихтовых материалов [2].

Для расчета оборудования плавильного отделения составим ведомость расхода металла на залитые формы, представленную в таблице 2.3. Определив расход металла на годные отливки, на литники и прибыли, на брак отливок, пробы и опытные образцы, на сливы и сплески, на угар и безвозвратные потери, составим баланс металла на годовую программу, представленный в таблице 2.4.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 2.3 – Ведомость расхода металла на залитые формы

Номер отливки	Марка сплава	Масса отл., кг	Годовая программа		Брак по вине литейного цеха		
			шт.	т	%	шт.	т
1	35Л	107	9608	1028,1	3,0	297	31,8
2	35ХГСЛ	75	11502	862,7	3,0	356	26,7
3	35ХГСЛ	40	10014	400,6	3,0	310	12,4
4	35Л	71	19707	1399,2	3,0	609	43,3
5	35ХГСЛ	78	16801	1310,5	3,0	520	40,5
6	35Л	100	15504	1550,4	3,0	480	48,0
7	35Л	60	11512	690,7	3,0	356	21,4
8	35ХГСЛ	70	12014	841,0	3,0	372	26,0
9	35Л	110	14710	1618,1	3,0	455	50,0
10	35ХГСЛ	65	12818	833,2	3,0	396	25,8
11	35Л	85	10008	850,7	3,0	310	26,3
12	35Л	42	12011	504,5	3,0	371	15,6
13	35Л	95	11011	1046,0	3,0	341	32,4
14	35Л	54	16872	911,1	3,0	522	28,2
15	35Л	58	19887	1153,4	3,0	615	35,7
Σ				15000			463,9

Продолжение таблицы 2.3

Номер отливки	Отливается в год	Масса на одну отливку, кг		Расход металла в год, т	
		литников и прибылей	отливок с литниками и прибылями	на литники и прибыли	всего
	т				
1	1059,9	113	220	1119,3	2179,1
2	889,3	75	150	889,3	1778,7
3	412,9	40	80	412,9	825,9
4	1442,5	61	132	1239,3	2681,8

## Окончание таблицы 2.3

Номер отливки	Отливается в год	Масса на одну отливку, кг		Расход металла в год, т	
5	1351,0	52	130	900,7	2251,7
6	1598,4	135	235	2157,8	3756,1
7	712,1	48	108	569,7	1281,7
8	867,0	70	140	867,0	1734,0
9	1668,1	128	238	1941,1	3609,3
10	858,9	35	100	462,5	1321,4
11	877,0	55	140	567,5	1444,5
12	520,1	65	107	804,9	1324,9
13	1078,4	41	136	465,4	1543,8
14	939,3	44	98	765,3	1704,6
15	1189,1	35	93	717,6	1906,7
Σ	15464,1			13880,3	29344,4

Таблица 2.4 – Баланс металла на годовую программу

Наименование статей	Расход по маркам			
	Сталь 35Л		Сталь 35ХГСЛ	
	%	т	%	т
1. Годные отливки	47,16	10752,2	50,47	4247,8
2. Литники и прибыли	45,38	10347,9	41,97	3532,4
3. Брак отливок	1,46	332,7	1,56	131,3
4. Технологические пробы и опытные образцы	1,00	228,0	1,00	84,2
5. Сливы и сплески	1,00	228,0	1,00	84,2
Итого жидкого металла	96,00	21888,8	96,00	8079,9
6. Угар и безвозвратные потери	4,00	912,0	4,00	336,7
Металлозавалка	100,00	22800,9	100,00	8416,6

По результатам расчета баланса металла произведем расчет плавильного оборудования и количества ковшей.

Определим оптимальную емкость печи для технологического потока по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V_{\Gamma} \cdot K_{\text{Н}} \cdot t_{\text{ц}}}{\Phi_{\text{Д}}^{\text{пл}}} \quad (2.1)$$

где  $V_{\Gamma} = 29968,7$  – годовое количество потребляемого жидкого металла, т;

$K_{\text{Н}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства (для крупносерийного производства);

$\Phi_{\text{Д}}^{\text{пл}} = 3875$  – действительный годовой фонд времени плавильного оборудования, ч;

$t_{\text{ц}} = 0,5$  – продолжительность разлива одной плавки, ч.

Оптимальная емкость печи составляет:

$$\varepsilon = \frac{29968,7 \cdot 1,2 \cdot 0,5}{3875} = 4,64$$

В качестве плавильного агрегата принимаем дуговую печь постоянного тока ДППТУ-6,0. Основные характеристики печи приведены в таблице 2.5. Отличительная особенность печей постоянного тока – наличие лишь одного электрода (катода), анодом в таких печах является токопроводящая подина с воздушным охлаждением (реже с водным). Габаритные размеры печи (ДхШхВ в метрах) 7,6х7,0х6,4 [8].

Таблица 5 – Основные характеристики печи ДППТУ-6,0

Ном. емкость печи (макс), т	Напряжение питающей сети, кВ	Мощность источника питания, кВА	Время расплавления, мин	Расход электроэнергии (удельный), кВт·ч/т
6,0 (8,0)	6;	4000	46	460

Расчетная производительность печи находится по формуле:

$$N_{\text{расч}}^{\text{пл}} = N \frac{V}{\tau}, \quad (2.2)$$

где  $N = 0,9$  – коэффициент использования оборудования;

$V$  – емкость течи, т;

$\tau$  – время плавки, ч.

$$N_{\text{расч}}^{\text{пл}} = 0,9 \frac{6,0}{55/60} = 5,89 \text{ т/ч.}$$

Количество плавильных агрегатов (расчетное) определяется по формуле:

$$P_1^{\text{пл}} = \frac{B_{\Gamma} \cdot K_{\text{Н}}}{\Phi_{\text{Д}}^{\text{пл}} \cdot N_{\text{расч}}^{\text{пл}}}, \quad (2.3)$$

где  $B_{\Gamma} = 29968,7$  – количество потребляемого жидкого металла в год, т;

$K_{\text{Н}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства (для крупносерийного производства);

$\Phi_{\text{Д}}^{\text{пл}} = 3875$  – действительный годовой фонд времени плавильного оборудования, ч;

$N_{\text{расч}}^{\text{пл}} = 5,89$  – расчетная производительность печи, т/ч.

По расчету количество плавильных печей, необходимых для обеспечения работы цеха составляет:

$$P_1^{\text{пл}} = \frac{29968,7 \cdot 1,2}{3875 \cdot 5,89} = 1,58$$

Количество плавильных печей, устанавливаемых в цехе определим по формуле:

$$P_2^{\text{пл}} = \frac{P_1^{\text{пл}}}{K_3}, \quad (2.4)$$

где  $K_3 = 0,85$  – коэффициент загрузки плавильного оборудования.

Количество плавильных агрегатов, устанавливаемых в цехе составляет:

$$P_2^{\text{пл}} = 1,58/0,85 = 1,85.$$

Полученное значение округляем до целой величины  $P_2^{\text{пл}} = 2$ , и проверяем

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

действительное значение коэффициента загрузки по формуле:

$$K_3 = \frac{P_1^{пл}}{P_2^{пл}}, \quad (2.5)$$

Коэффициент загрузки составляет:

$$K_3 = \frac{1,58}{2} = 0,79.$$

Главным условием ритмичной, безостановочной работы цеха является тот факт, что величина коэффициента загрузки оборудования во всех отделениях цеха должна быть меньше коэффициента загрузки основного формовочного оборудования. Проверка данного условия производится после расчета формовочного оборудования.

В результате расчета принимаем к установке в плавильном отделении проектируемого цеха две дуговые печи постоянного тока ДППТУ – 6,0.

Для приема металла, сливаемого из печи, и его заливки в формы в цехе предусмотрим использование раздаточных стопорных ковшей емкостью 6 тонн и разливочных чайниковых ковшей емкостью 2 тонны. Расчетное количество одновременно работающих ковшей определим по формуле:

$$n'_k = \frac{g'_{Me} \cdot \tau_{цк} \cdot K_H}{g_k}, \quad (2.6)$$

где  $g'_{Me}$  – количество металла необходимого для заполнения готовых форм, т/ч;

$\tau_{цк} = 0,75$  – время оборота ковша, ч;

$K_H = 1,7$  – коэффициент неравномерности потребления металла под заливку;

$g_k$  – металлоемкость ковша, т.

$$g'_{Me} = \frac{B_\Gamma \cdot K_H}{\Phi_D}, \quad (2.7)$$

где  $B_\Gamma = 29968,7$  – годовое количество потребляемого жидкого металла, т;

$K_H = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(в условиях крупносерийного производства);

$\Phi_{\text{д}}^{\text{пл}} = 3875$  – действительный годовой фонд времени плавильного оборудования, ч.

$$g'_{\text{Me}} = \frac{29968,7 \cdot 1,2}{3875} = 9,28 \text{ т.}$$

Производим расчет для 6 и 2 тонных ковшей.

$$n'_{\text{к}} = \frac{9,28 \cdot 0,75 \cdot 1,7}{6} = 1,97.$$

Принимаем 2 ковша по 6 тонн.

$$n'_{\text{к}} = \frac{9,28 \cdot 0,75 \cdot 1,7}{2} = 5,92.$$

Принимаем 6 ковшей по 2 тонне.

Количество ковшей с учетом ремонта  $N_1$  рассчитывается по формуле:

$$N_1 = n \cdot \left( \frac{Z_1}{Z_2} + 1 \right), \quad (2.8)$$

где  $Z_1=8$ – время ремонта ковша, ч;

$Z_2=8$  – время работы ковша до ремонта, ч.

$$N_{1\text{разд}} = 2 \left( \frac{8}{8} + 1 \right) = 4.$$

$$N_{1\text{разл}} = 6 \left( \frac{8}{8} + 1 \right) = 12.$$

Дополнительно необходимо иметь резервные ковши на случай аварии.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

Количество резервных ковшей не должно быть меньше 2 и должно составлять 15...20 % от общего числа ковшей. Соответственно для 6 и 2 тонных ковшей резервных будет по 2 штуки. Всего в цехе должно быть 6 раздаточных стопорных ковшей емкостью 6 т и 14 разливочных чайниковых ковшей емкостью 2 т.

Технология выплавки стали по принятому кислому процессу включает: загрузку шихты, ее расплавление, доводку расплава, его термовременную выдержку и последующую разливку.

Футеровка кислых дуговых печей состоит почти из чистого кремнезема. Важным преимуществом использования кислой футеровки является ее более высокая термостойкость по сравнению с основной футеровкой, особенно это важно в условиях двухсменной работы цеха. Также стоит отметить, что кислый шлак имеет более низкую отражательную способность, что также снижает тепловую нагрузку на футеровку. При всем при этом кислые огнеупоры имеют более низкую стоимость по сравнению с основными (в 2...2,5 раза). Основным минусом использования кислых печей является невозможность проведения дефосфорации и десульфурации, поэтому шихтовые материалы в сумме должны содержать меньше примесей, чем в готовой стали по требованиям ГОСТа. В дуговых печах с кислой футеровкой выплавляют ограниченный сортамент сталей, включающий простые среднеуглеродистые (0,25...0,40% С), а также среднеуглеродистые легированные стали. Поэтому для выплавки сталей 35Л и 35ХГСЛ целесообразней использовать кислый процесс. Поскольку углерод значительно угорает в процессе плавки, то содержание его в шихте порасплавлении должно превышать требования на 0,15...0,30 % [8].

С целью повышения содержания углерода в шихту помимо стального лома необходимо вводить чугуны. Так как по кислому процессу дефосфорация и десульфурация невозможна, то содержание серы и фосфора должно быть меньше чем в выплавляемой стали. На металлической шихте не должно быть ржавчины, так как оксиды приводят к разрушению кремнеземного пода печи.

Период кислой плавки составляет 50...60 мин. Во время плавления наблюдается окисление углерода, марганца, кремния и железа.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Так как количество образующихся оксидов сравнительно невелико, то для покрытия металла шлаком и уменьшения угара шихтовых материалов в печь во время плавления шихты добавляют сухой песок (1 % от металлозавалки), и известняк (1 % от металлозавалки). К окончанию плавки шлак имеет следующий приблизительный состав, %: 35...50 SiO<sub>2</sub>; 20...30 FeO; 15...35MnO; 2...8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5...10 другие оксиды.

В окислительный период кислой плавки происходит дегазация металла и нагрев металла. Окисление углерода в этот период идет преимущественно посредством восстановления оксидов железа, находящихся в кислом шлаке. С увеличением окисленного углерода содержание оксида железа уменьшается (так как он восстанавливается), в тоже время содержание SiO<sub>2</sub> возрастает так как наблюдается процесс разъедания футеровки; к концу окислительного периода оно может достигать 55...60 %. При таком содержании оксида кремния начинается восстановление кремния по эндотермической реакции: (SiO<sub>2</sub>) + 2[C] = [Si] + 2CO. Содержание кремния в металле в конце окислительного периода может достигать 0,2...0,4 %. По окончании плавки сталь раскисляют осаждающим методом. При недостатке кремния в печь за 10 мин до выпуска присаживают ферросилиций. Ферромарганец вводят либо в печь (за 3...5 мин до выпуска), либо в ковш. Окончательное раскисление алюминием производят в ковше. [8]

Отливки производятся из сталей 35Л, 35ХГСЛ по ГОСТ 977-88. Химический состав стали 35Л по ГОСТ 977-88в масс. %: С = 3,2...3,4; Si = 1,4...2,2; Mn = 0,7...1,0; P не более 0,2; S не более 0,15. Химический состав стали 35ХГСЛ по ГОСТ 977-88в масс %: С = 3,2...3,4; Si = 1,4...2,2; Mn = 0,7...1,0; P не более 0,2; S не более 0,15.

Для выплавки сталей применяются следующие шихтовые материалы:

- 1) возврат собственного производства;
- 2) лом стальной 3А ГОСТ 2787-75;
- 3) ферросилиций ФС45 ГОСТ 1415-93;
- 4) ферромарганец ФМн75 ГОСТ 4755-91;
- 5) феррохром ФХ70 ГОСТ 4757-91;

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

б) чугун передельный ПЛ2 ГОСТ 805-95.

Кроме этого сверх 100 % металлической части шихты вводятся шлакообразующие (2 %).

Произведем расчет шихты на ЭВМ с минимизацией стоимости тонны шихтовых материалов симплекс методом. Химический состав и стоимость шихтовых материалов для выплавки сталей представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Химический состав и стоимость компонентов шихты

Компон. металлозавалки	Условное обозначение	Стоимость, руб/т	Массовая доля элемента, %					
			C	Si	Mn	S	P	Cr
Возврат собственного производства	X1(35Л)	20000	0,37	0,35	0,65	0,03	0,03	0
	X1(35ХГСЛ)	30000	0,35	0,70	1,20	0,03	0,03	0
Лом стальной 3А ГОСТ 2787-86	X2	17500	0,30	0,25	0,40	0,04	0,03	0
Ферросилиций ФС45 ГОСТ 1415-93	X3	87000	0,25	44,90	0,45	0,02	0,05	0,17
Ферромарганец ФМн75 ГОСТ 4755-91	X4	102500	6,68	0,52	76,05	0,02	0,03	0
Феррохром ФХ70 ГОСТ 4757-91	X5	232500	0,07	1,50	0	0,03	0,05	70
Чугун передельный ПЛ2 кл.2 кат. А ГОСТ 805-95	X6	68000	4,5	0,66	0,28	0,04	0,20	0

Расчет компонентов шихты показал, что минимальная стоимость одной тонны шихты для выплавки стали 35Л составляет 21511,52 руб., при следующем составе металлозавалки: X1 – 49,000 %, X2 – 47,145 %, X3 – 0,000 %, X4 – 0,208 %, X5 – 0,000 %, X6 – 3,647 %.

Для выплавки стали 35ХГСЛ минимальная стоимость составляет 33173,04 руб., при следующем составе металлозавалки: X1 – 45,500 %, X2 – 47,394 %, X3 – 0,255 %, X4 – 0,456 %, X5 – 0,444 %, X6 – 5,951 %.

На основании расчета составим ведомость расхода шихтовых материалов. Полученные данные сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Ведомость расхода шихтовых материалов

Наименование материала	Расход материала по маркам сплава			
	35Л		35ХГСЛ	
	%	т	%	т
1. Металлическая шихта				
Возврат собственного производства	49,00	11172,44	45,50	3829,55
Лом стальной 3А ГОСТ 2787-86	47,14	10749,4 84	47,39	3988,96
Ферросилиций ФС45 ГОСТ 1415-93	0	0	0,255	21,46
Ферромарганец ФМн75 ГОСТ 4755-91	0,20	47,426	0,456	38,38
Феррохром ФХ70 ГОСТ 4757-91	0	0	0,444	37,37
Чугун передельный ПЛ2 кл.2 кат. А ГОСТ 805-95	3,64	831,549	5,951	500,87
Итого	100	22800,9	100	8416,6
2. Шлакообразующее				
Песок кварцевый	1	228,00	1	84,16
Известняк ГОСТ 1464-80	1	228,00	1	84,16
Электроэнергия технологическая, кВт ч/т				520

В цех компоненты шихты поставляются железнодорожным транспортом. Основной запас шихтового материала хранится на складе. В пролете есть закрома для хранения пятидневного запаса материалов [2].

В бункеры и закрома шихтовые материалы загружаются магниторейферными кранами.

Из бункеров, теми же кранами, шихту загружают на весы, а далее в бады и на передаточной тележке подают в плавильное отделение. Из бадей шихта заваливается в печи.

Шлаки в процессе выплавки сплава скачиваются в шлаковни, которые после заполнения вывозятся железнодорожным транспортом для последующего использования на цементных, бетонных заводах.

После окончания плавки расплав сливается в раздаточный ковш, в котором происходит окончательное раскисление, затем он транспортируется на участок заливки, где металл разливается в разливочные ковши, после чего расплав разливается по формам.

Металлические отходы (сливы, сплески) собираются краном с магнитной плитой и направляются в виде возврата на повторный переплав. Возврат сортируют и используют для выплавки соответствующих марок сталей. [3]

Горячие ремонты на плавильных агрегатах проводят после выпуска металла путем исправления дефектов рабочей зоны печи. Холодные ремонты печей проводятся один раз в месяц путем полной замены футеровки рабочей зоны. Ремонт, сушка, подогрев ковшей и сводов печей производится на специальных стендах, оснащенных газовыми горелками.

#### 2.4.2 Формовочно-заливочно-выбивное отделение

Для условий массового и крупносерийного производства в формовочно-заливочно-выбивном отделении широкое применение получили комплексные автоматические линии. Для проектируемого цеха выберем комплексную автоматическую линию фирмы HWS, работающую по Seiatsu-процессу. Формовка осуществляется в опоках размерами 800 x 700 x 300 мм. Основными преимуществами изготовления форм и отливок на автоматических линиях является их высокая производительность, низкий уровень шума, и более лучшие экологические характеристики.

Изготовление форм производится уплотнением воздушным импульсом с

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

последующей подпрессовкой. Основой линии является двухпозиционная формовочная машина поворотного типа EFA-SD. Технологический процесс изготовления форм включает ряд операций: дозирование и подачу формовочной смеси в бункер, обдув и опрыскивание модельного комплекта, заполнение опоки формовочной смесью, уплотнение формовочной смеси воздушным импульсом с последующей подпрессовкой, протяжку моделей, осмотр формы и простановку стержней, кантовку полуформ и спаривание опок скобами, заливку форм, охлаждении и транспортирование их на участок выбивки, выбивку отливок.

Технические характеристики линии EFA-SD приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики линии EFA-SD

Параметр	Значение
1. Размеры опок в свету, мм	800x700
2. Высота опок, мм	300
3. Габаритные размеры опок, мм	1050x950
4. Усилие прессования, кН	785
5. Давление прессования, МПа	1,5
6. Электрическая мощность, кВт	22
5. Производительность форм/час	80

В комплект линии входят: дозатор ленточный; бункер для формовочной смеси, формовочная машина (одна основна); кантователь, выбивная инерционная решетка.

Для расчета оборудования формовочно-заливочно-выбивного отделения составим ведомость изготовления и сборки форм, представленную в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Ведомость изготовления и сборки форм

Номер отливки	Годовая программа, шт.	Размеры опок в свету, мм	Кол-во отливок в форме шт	Изготавл. форм в год, шт	Объем для одной формы, м <sup>3</sup>				Объем формов.смеси, м <sup>3</sup>
					опок	залитого металла	стержней	уплотненной формовочной смеси	
1	9608	800x700x300	1	9608	0,336	0,028205	0,00000	0,30779	2957,293
2	11502	800x700x300	1	11502	0,336	0,019231	0,00000	0,31677	3643,480
3	10014	800x700x300	2	5007	0,336	0,020513	0,00556	0,30993	1551,805
4	19707	800x700x300	1	19707	0,336	0,016923	0,00478	0,31430	6193,849
5	16801	800x700x300	1	16801	0,336	0,016667	0,00758	0,31175	5237,768
6	15504	800x700x300	1	15504	0,336	0,030128	0,00000	0,30587	4742,236
7	11512	800x700x300	2	5756	0,336	0,027692	0,00632	0,30199	1738,241
8	12014	800x700x300	1	12014	0,336	0,017949	0,00483	0,31322	3763,040
9	14710	800x700x300	1	14710	0,336	0,030513	0,00626	0,29923	4401,632
10	12818	800x700x300	1	12818	0,336	0,012821	0,00000	0,32318	4142,515
11	10008	800x700x300	1	10008	0,336	0,017949	0,00000	0,31805	3183,057
12	12011	800x700x300	2	6006	0,336	0,027436	0,00451	0,30405	1826,149
13	11011	800x700x300	1	11011	0,336	0,017436	0,00696	0,31160	3431,073
14	16872	800x700x300	1	16872	0,336	0,012564	0,00753	0,31591	5329,964
15	19887	800x700x300	2	9944	0,336	0,023846	0,00000	0,31215	3104,058
Σ				177268			0,05433		55246,16

Определим расчетную производительность линии по формуле:

$$N_{\text{расч}} = N \cdot N_{\text{цикл}}, \quad (2.9)$$

где  $N = 0,8$  – коэффициент использования оборудования;

$N_{\text{цикл}} = 80$  – цикловая производительность линии, шт/ч.

$$N_{\text{расч}} = 80 \cdot 0,8 = 64 \text{ шт/ч.}$$

Расчетное количество автоматических линий EFA-SD для формовочно-заливочно-выбивного отделения определяется по формуле:

$$P_1^{\Phi} = \frac{n}{K_{\sigma} N_{\text{расч}} \Phi_D^{\Phi}} \quad (2.10)$$

где  $n$  – годовое число форм, изготавливаемых на линии, шт.;

$K_{\sigma} = 0,95$  – коэффициент, учитывающий потери из-за брака форм и отливок;

$N_{\text{расч}}$  – тактовая производительность оборудования, шт./ч;

$\Phi_{\text{д}}^{\Phi}$  – действительный фонд времени формовочного оборудования, ч.

$$P_1 = \frac{177268}{0,95 \cdot 64 \cdot 3552} = 0,82$$

Количество автоматических формовочных линий с учетом коэффициента загрузки ( $K_3 = 0,85$ ) находится по формуле:

$$P_2^{\Phi} = \frac{P_1^{\Phi}}{K_3}. \quad (2.11)$$

Количество автоматических линий:

$$P_2^{\Phi} = \frac{0,82}{0,85} = 0,96.$$

Количество формовочных линий округляем до целой величины  $P_2^{\Phi} = 1$ , и проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{\Phi}}{P_2^{\Phi}}, \quad (2.12)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,82}{1} = 0,82.$$

В результате расчета принимаем к установке в формовочно-заливочно-выбивном отделении проектируемого цеха одну комплексную автоматическую линию EFA-SD фирмы HWS. Рекомендуемый состав формовочной песчано-глинистой смеси приведен в таблице 2.10. [6]

Таблица 2.10 – Состав формовочной смеси

Состав формовочной смеси, мас. %					Технологические свойства		
Смесь оборотная	Кварцевый песок 3К <sub>3</sub> О <sub>3</sub> 03 ГОСТ 28177-89	Глина бентонитовая П <sub>1</sub> Г <sub>2</sub> ГОСТ 28177-89	ПАВ (сульфанол)	Добавки крахмалистые	Прочность при сжатии, МПа	Влажность, %	Газопрониц. ед.
93...98	2,5...6	0,2...1,0	0,02...0,05	0,02...0,06	0,17...0,21	3,1...4,0	100

### 2.4.3 Стержневое отделение

Современным способом получения стержней повышенного качества являются процессы их изготовления в холодной оснастке с использованием холодно-твердеющих песчано-смоляных смесей. Современные способы стержнеобразования основаны на отверждении газообразными или жидкими отвердителями непосредственно в стержневой оснастке. Эксплуатационная твердость стержней достигается сразу после продувки катализатором, что ускоряет производство новых стержней.

Среди современных способов изготовления стержней наибольшее распространение нашел Cold-box-amin процесс. Преимуществами этого процесса являются: повышение размерной точности отливок на 1...2 класса и как следствие снижение припусков на механическую обработку на 10 %; практически полная автоматизация процесса; снижение брака отливок по вине стержней до 30 %; более низкий расход энергоресурсов по сравнению с изготовлением стержней в нагреваемой оснастке; улучшение экологической ситуации на стержневых участках при грамотной организации тех. процесса.

Комплект оборудования состоит из следующих агрегатов и систем: смеситель; передаточные конвейеры; приемные бункеры; пескострельные автоматы; систему подачи сжатого воздуха; систему удаления отработавшего воздуха с амином в нейтрализатор; генератор подготовки газоаминной смеси; нейтрализатор.

Изготовление стержней по Cold-box-amin состоит из следующих этапов:

- 1) введение в смеситель песка, фенольной смолы, полиизационата, перемешивание смеси в течении 10...15 с;
- 2) подача готовой смеси к пескострельной головке автомата;
- 3) уплотнение смеси пескострельным способом, продувка смесью паров третичного амина с воздухом, или инертным газом в течении 0,2...25 с;
- 4) продувка сжатым воздухом до 10 с (очистка от паров амина);

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

5) отработанная газоаминная смесь направляется в нейтрализатор (тракт подачи и отвода амина должен быть изолирован);

6) извлечение стержней из стержневых ящиков, их зачистка и окрашивание для придания дополнительной термостойкости и предотвращения осыпаемости;

7) готовые стержни направляются на склад готовых стержней, далее проставляются в формы.

Основным агрегатом стержневого участка выбираем разработанный фирмой Laetpre стержневой пескострельный автомат LE16, который позволяет получать стержни массой до 20 кг. Средняя продолжительность цикла изготовления одного стержня составляет 40 с, с учетом выстрела, вентиляции камеры автомата, перестановки стержневой оснастки это соответствует 40 съемам в час.

Стержневая смесь содержит:

1) наполнитель: кварцевый песок  $1K_3O_3025$  ГОСТ 2138-91...100 % масс;

2) связующее: фенольная смола иполиизоционат. «Полифам – 1» 1,6 масс. % от массы песка;

3) отвердитель: низкокипящий триметиламин ТМА  $(C_2H_5)_3N$ , расход до 1,5 г/кг стержневой смеси.

Прочность стержней:

1) после продувки... 1,70 МПа;

2) 1 час выдержки... 1,80 МПа;

3) 24 часа выдержки... 2,50 МПа.

Произведем расчет оборудования для изготовления стержней.

Для расчета оборудования стержневого участка составим ведомость изготовления стержней приведенную в таблице 2.11.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Таблица 2.11 – Ведомость изготовления стержней

Номер отливки	Годовая программа, шт.	Номер стержня	Количество стержней на одну отливку, шт.	Количество стержней на годовую программу, шт.	Брак и потери стержней, %	Годовое количество стержней с учетом брака, шт.
3	10014	1	1	10014	5	10514
4	19707	1	1	19707	5	20692
4	19707	2	1	19707	5	20692
5	16801	1	1	16801	5	17641
5	16801	2	1	16801	5	17641
5	16801	3	1	16801	5	17641
5	16801	4	1	16801	5	17641
7	11512	1	1	11512	5	12087
8	12014	1	1	12014	5	12614
9	14710	1	1	14710	5	15445
9	14710	2	1	14710	5	15445
12	12011	1	1	12011	5	12611
12	12011	2	1	12011	5	12611
13	11011	1	1	11011	5	11561
13	11011	2	1	11011	5	11561
13	11011	3	1	11011	5	11561
14	16872	1	1	16872	5	17715
14	16872	2	1	16872	5	17715
14	16872	3	1	16872	5	17715
Σ						

Продолжение таблицы 2.11

Номер отливки	Масса стержня, кг	Масса стержней на годовую программу, т	Количество стержней в ящике, шт.	Число съёмов в год, шт.	Норма времени	
					на один съём, с.	на годовую программу, ч.
3	8,7	91,4718	2	5257	40	58,41

4	4,3	88,9756	4	5173	40	57,48
4	3,1	64,1452	4	5173	40	57,48

Окончание таблицы 2.11

Номер отливки	Масса стержня, кг	Масса стержней на годовую программу, т	Количество стержней в ящике, шт.	Число съёмов в год, шт.	Норма времени	
					на один съём, с.	на годовую программу, ч.
5	3,0	52,9230	4	4411	40	49,00
5	2,3	40,5743	6	2941	40	32,67
5	3,2	56,4512	6	2941	40	32,67
5	3,3	58,2153	6	2941	40	32,67
7	9,8	118,4526	1	12087	40	134,30
8	7,5	94,6050	2	6307	40	70,08
9	3,7	57,1465	4	3862	40	42,90
9	6,0	92,6700	2	7723	40	85,81
12	2,7	34,0497	5	2523	40	28,02
12	4,3	54,2273	3	4204	40	46,71
13	5,1	58,9611	3	3854	40	42,82
13	3,6	41,6196	4	2891	40	32,11
13	2,2	25,4342	6	1927	40	21,41
14	4,7	83,2605	3	5905	40	65,61
14	3,5	62,0025	4	4429	40	49,21
14	3,4	60,2310	4	4429	40	49,21
Σ		1235,4164		88971		988,57

Расчетное количество строжневых автоматов определим по формуле:

$$P_1^{ст} = \frac{B_{\Gamma} \cdot K_{Н}}{\Phi_{Д}^{ст} \cdot N_{расч}^{ст}}, \quad (2.13)$$

где  $B_{\Gamma} = 88971$  – число съёмов в год со строжневых автоматов, шт.;

$K_{Н} = 1,3$  – коэффициент неравномерности потребления и производства;

$\Phi_{Д}^{ст} = 3794$  – действительный годовой фонд строжн. оборудования, ч;

$N_{расч}^{ст} = 40$  – расчетная производительность строжневого оборудования, шт./ч.

Расчетное количество строжневых машин:

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР				

$$P_1^{ст} = \frac{88971 \cdot 1,3}{3794 \cdot 40} = 0,76$$

Количество стержневых автоматов для установки в цехе определим по формуле:

$$P_2^{ст} = \frac{P_1^{ст}}{K_3}, \quad (2.14)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки стержневого оборудования.

Определим количество стержневых автоматов устанавливаемых в цехе:

$$P_2^{ст} = 0,76/0,8 = 0,95.$$

Полученное число стержневых автоматов округляем до целой величины  $P_2^{ст} = 1$ , и проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{ст}}{P_2^{ст}}, \quad (2.15)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,76}{1} = 0,76.$$

В результате расчета принимаем к установке в стержневом отделении проектируемого цеха линию изготовления стержней на основе одного пескострельного стержневого автомата LE16 фирмы Laempe. [2]

Для предотвращения образования пригара на внутренней поверхности отливки стержень покрывается противопригарной краской. Состав противопригарной краски приведен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Состав противопригарного покрытия

Компонент	Наименование	масс. %
Наполнитель	Циркон	68
Связующее	Жидкое стекло	5
Растворитель	Водный раствор карбоксилитилцеллюлозы	27

После получения стержня в стержневом автомате его транспортируют на

стенд покраски, где при помощи пульверизатора наносят противопопригарное покрытие. После покраски стержни транспортируются на склад готовых стержней, где происходит высыхание краски и набор требуемой прочности. После чего готовые стержни проставляют в формы.

#### 2.4.4 Смесеприготовительное отделение

В смесеприготовительном отделении производится подготовка материалов смеси и их непосредственное перемешивание. В проектируемом цехе применяются два типа смеси: формовочная песчано-глинистая смесь для комплексной линии EFA-SD фирмы HWS и стержневая песчано-смоляная смесь для стержневого автомата LE16. Годовая потребность цеха в формовочных материалах и смесях с учетом потерь при транспортировке и формообразовании представлена в таблице 2.13. Необходимо учитывать что плотность уплотненной формовочной смеси составляет 1,65 т/м<sup>3</sup>, разрыхленной 1,25 т/м<sup>3</sup>, стержневой ХТС 1,55 т/м<sup>3</sup>.

Таблица 2.13 – Годовая потребность цеха в формовочных материалах

Формовочная смесь			
Компонент	Количество, %	Годовой расход разрыхленной смеси, м <sup>3</sup>	Годовой расход с учетом потерь, м <sup>3</sup>
Смесь оборотная	94,0	68549,44	75404,38
Песок кварцевый	4,80	3500,40	3850,44
Глина бентонитовая	0,65	474,01	521,41
Уголь молотый	0,50	364,62	401,09
Добавки крахмалистые	0,05	36,46	40,11
Итого	100,0	72924,93	80217,43
Потери	10		

Окончание таблицы 2.13

Стержневая смесь			
Компонент	Количество, %	Годовой расход, м <sup>3</sup>	Годовой расход с учетом потерь, м <sup>3</sup>
Песок кварцевый	98,425	784,52	823,75
Полифам 1	1,525	12,16	12,76
ТМА	0,046	0,36	0,38
Итого	100,00	797,04	836,89
Потери	5		

Для обеспечения песчано-глинистой формовочной смесью комплексной автоматической формовочной линии модели EFA-SD применим вихревой смеситель интенсивного типа фирмы SAVELLIS.p.A модель SGMT1500.

Технические характеристики смесителя модели SGMT1500:

- 1) емкость, кг...1500;
- 2) производительность, т/ч (м<sup>3</sup>/ч) ... 49 (39,2);
- 3) мощность плужков, кВт...132;
- 4) мощность турбин, кВт ...22;
- 5) количество турбин...1;
- 6) диаметр чаши, мм...2000;
- 7) габаритные размеры, мм...4450×3500×2700;
- 8) масса, кг...15000;

Количество смесителей для формовочной смеси определим по формуле

$$P_1^{см} = \frac{B_{ф.с} \cdot K_H}{\Phi_{д}^{см} \cdot N_{рас}^{см}}, \quad (2.16)$$

где  $V_{\text{фс}} = 80217,43$  – объем формовочной смеси необходимой в год,  $\text{м}^3$ ;

$K_{\text{н}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства;

$N_{\text{рас}}^{\text{см}} = 26,4$  – расчетная производительность формовочного смесителя,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\Phi_{\text{д}}^{\text{см}} = 3834$  – действительный годовой фондсмесеприготов. оборудования, ч;

Определим расчетное количество формовочных смесителей:

$$P_1^{\text{см}} = \frac{80217,43 \cdot 1,2}{3834 \cdot 39,2} = 0,64.$$

Количество смесителей устанавливаемых в цехе определяем по формуле:

$$P_2^{\text{см}} = \frac{P_1^{\text{см}}}{K_3}, \quad (2.17)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки смесеприготовительного оборудования.

Определим количество формовочных смесителей устанавливаемых в цехе:

$$P_2^{\text{см}} = 0,64/0,8 = 0,8.$$

Полученное число округляем до целой величины  $P_2^{\text{см}} = 1$ , и проверяем действительное значение коэффициента загрузки по формуле:

$$K_3 = \frac{P_1^{\text{см}}}{P_2^{\text{см}}}, \quad (2.18)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,64}{1} = 0,64.$$

В результате расчета принимаем к установке в смесеприготовительном отделении проектируемого цеха один формовочный смеситель модели SGMT1500 для приготовления песчано-глинистой смеси. [3]

Процесс приготовления песчано-глинистых смесей состоит из операций дозирования составляющих компонентов смеси и их смешения. Для выдержки заданного состава смеси используют предусмотрены специальные весовые дозаторы, пылевидные материалы дозируют шнековыми дозаторами, жидкие составляющие смесей объемными дозаторами. При приготовлении формовочной смеси следует придерживаться следующей последовательности в подаче составных ее частей: подача сухих компонентов (оборотная смесь, песок,

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

бентонит); подача жидких компонентов смеси (вода, бентонитовая суспензия); подача технологических добавок (крахмалистые, ПАВ). [2]

Для приготовления стержневой смеси применим смеситель турбинный интенсивного типа с вихревой головкой S1310. Основные характеристики смесителя представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Основные характеристики смесителя модели S1310

Производительность, т/ч (м <sup>3</sup> /ч)	Емкость, кг	Мощность, кВт	Диаметр чаши, мм	Масса, кг
1,25 (0,81)	55	4	1000	780

Количество смесителей определяем по формуле:

$$P_1^{см} = \frac{V_{г} \cdot K_{н}}{\Phi_{д}^{см} \cdot N_{расч}^{см}}, \quad (2.19)$$

где  $V_{г} = 836,89$  – годовой объем стержневой смеси, м<sup>3</sup>;

$K_{н} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления;

$\Phi_{д}^{см} = 3834$  – действительный годовой фонд времени, ч;

$N_{расч}^{см} = 0,81 \cdot 0,5 = 0,4$  – расчетная производительность оборудования, м<sup>3</sup>/ч.

Расчетное количество смесителей составляет:

$$P_1^{см} = \frac{836,89 \cdot 1,2}{3834 \cdot 0,4} = 0,65.$$

Количество смесителей устанавливаемых в цехе находим по формуле:

$$P_2^{см} = \frac{P_1^{см}}{K_3}, \quad (2.20)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки смесеприготовительного оборудования.

Определим число смесителей устанавливаемых в цехе:

$$P_2^{см} = 0,65/0,8 = 0,82.$$

Полученное число смесителей округляем до целой величины  $P_2^{см} = 1$ , и проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{cm}}{P_2^{cm}}, \quad (2.21)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,65}{1} = 0,65.$$

В результате расчета принимаем к установке в стержневом отделении проектируемого цеха один смеситель модели S1310.

Для уменьшения влажности свежего песка предусмотрен аппарат сушки песка в кипящем слое. Загрузка аппарата песком осуществляется элеватором. По выходу из аппарата сушки, песок попадает в нагнетательный пневмопровод и поступает в бункеры-накопители формовочного и стержневого отделений.

Для регенерации отработанной смеси предусмотрим линию механической регенерации, смысл регенерации заключается в перетирании отработанной смеси в валковых дробилках. Установка регенерации включает в себя: железоотделитель ЭПР-120 – 2 шт; дробилка однороторная крупного дробления СМД-85 – 1 шт, грохот ГВ-06 – 1 шт. [5]

#### 2.4.5 Термообрубное отделение

После выбивки отливки попадают в термообрубное отделение, где производятся работы по отделению литниково-питающей системы, очистки отливок от остатков смеси, исправляются дефекты, производится термообработка и грунтовка отливок.

Очистка отливок заключается в следующем: отливки после выбивки попадают на передаточную тележку, двигаясь по которой, частично охлаждаются и поступают в термообрубное отделение. После обрубки литниковой системы отливки попадают в дробеметный барабан периодического действия модели 42246 («Амурлитмаш»), где происходит отбивка, очистка отливок. Далее конвейером отливки следуют на стол контролера, где проходят контроль, годные

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отливки складываются в корзину готовой продукции, отливки признанные дефектными в корзину для транспортировки на участок исправления дефектов, а окончательный брак отливок и отбитая литниково-питающая система складывается в корзину для возврата. Годные отливки и отливки прошедшие ремонт поступают на участок термообработки. Стандартный режим термообработки нормализация, имеет целью снятие внутренних напряжений. После термообработки качественные отливки поступают на участок зачистки, а затем грунтовки. После грунтовки отливки транспортируются на склад в корзинах автопогрузчиком.

Технические характеристики дробеметного барабана периодического действия модели 42246:

1) масса загрузки, кг	3000
2) производительность, т/ч	13
3) габариты, мм	5300×5800×7500
4) наибольшая масса очищаемой отливки, кг	500

Количество дробеметных барабанов (расчетное) находится по формуле:

$$P_1^{оч} = \frac{B_{Г} \cdot K_{Н}}{\Phi_{Д}^{оч} \cdot N_{расч}^{оч}}, \quad (2.22)$$

где  $B_{Г} = 29344,4$  – годовая масса отливок с ЛПС, включая брак, т;

$K_{Н} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства;

$\Phi_{Д}^{оч} = 3834$  – действительный годовой фонд времениоборудования, ч;

$N_{расч}^{оч} = 13$  – расчетная производительность оборудования, т/ч.

Расчетное количество дробеметных барабанов:

$$P_1^{оч} = \frac{29344,4 \cdot 1,2}{3834 \cdot 13} = 0,71.$$

Количестводробеметных барабанов находим по формуле:

$$P_2^{оч} = \frac{P_1^{оч}}{K_3}, \quad (2.23)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки очистного оборудования.

Определим число дробеметных барабанов устанавливаемых в цехе:

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$P_2^{oc} = 0,71/0,8 = 0,89.$$

Полученное число округляем до целой величины  $P_2^{oc} = 1$ , и проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{oc}}{P_2^{oc}}, \quad (2.24)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,71}{1} = 0,71.$$

В результате расчета принимаем к установке в термообрубном отделении проектируемого цеха один дробеметный барабан периодического действия модели 42246.

Для термической обработки предусмотрим установку в проектируемом цехе термической печи с выкатным подом ПВП 20.45.20/10М. [5]

Технические характеристика термической печи:

- 1) производительность печи, т/ч...4;
- 2) размеры рабочей камеры, мм...4500x2000x2000;
- 3) габаритные размеры, мм...12000x3500x5600;
- 4) температура нагрева металла, °С...1000;
- 5) масса, кг...15000.

Расчетное количество термических печей определим по формуле:

$$P_1^{to} = \frac{B_{\Gamma} \cdot K_{\text{H}}}{\Phi_{\text{Д}}^{to} \cdot N_{\text{расч}}^{to}}, \quad (2.25)$$

где  $B_{\Gamma} = 15464,4$  – годовая масса отливок, идущих на термообработку, т;

$K_{\text{H}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления и производства;

$\Phi_{\text{Д}}^{to} = 5751$  – действительный годовой фонд времени термического оборудования (термообработка идет в три смены), ч;

$N_{\text{расч}}^{to} = 4$  – расчетная производительность оборудования, т/ч.

Расчетное количество термических печей составляет:

$$P_1^{to} = \frac{15464,4 \cdot 1,2}{5751 \cdot 4} = 0,80.$$

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Количество термических печей в цехе определяем по формуле:

$$P_2^{\text{то}} = \frac{P_1^{\text{то}}}{K_3}, \quad (2.26)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки оборудования.

Определим количество термических печей устанавливаемых в цехе:

$$P_2^{\text{то}} = 0,8/0,8 = 1.$$

Проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{\text{то}}}{P_2^{\text{то}}}, \quad (2.27)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{0,80}{1} = 0,80.$$

В результате расчета принимаем к установке в термообрубном отделении проектируемого цеха одну термическую печь периодического действия с выкатным подом модели ПВП 20.45.20/10М.

Зачистка отливок производится на стационарных шлифовальных станках, а также механизированным ручным инструментом на участке зачистки и механической обработки.

Для зачистки отливок предусмотрены шлифовальные станки модели ЗМ636. Техническая характеристика шлифовального станка:

- |  |       |
|--|-------|
| 1) производительность, т/ч             | 0,3;  |
| 2) количество шлифовальных кругов, шт. | 2;    |
| 3) масса, кг                           | 1000. |

Расчетное количество шлифовальных станков определим по формуле:

$$P_1^{\text{то}} = \frac{B_{\Gamma} \cdot K_{\text{н}}}{\Phi_{\text{д}}^{\text{то}} \cdot N_{\text{расч}}^{\text{то}}}, \quad (2.28)$$

где  $B_{\Gamma} = 15000$  – масса годных отливок в год, т;

$K_{\text{н}} = 1,2$  – коэффициент неравномерности потребления;

$\Phi_{\text{д}}^{\text{то}} = 3834$  – действительный годовой фонд времени термообрубного отделения, ч;

$N_{\text{расч}}^{\text{то}} = 0,3$  – расчетная производительность оборудования, т/ч.

Расчетное количество станков составляет:

$$P_1^{\text{то}} = \frac{15000 \cdot 1,2}{3834 \cdot 0,3} = 15,65.$$

Численное значение станков устанавливаемых в цехе определяем по формуле:

$$P_2^{\text{то}} = \frac{P_1^{\text{то}}}{K_3}, \quad (2.29)$$

где  $K_3 = 0,8$  – коэффициент загрузки оборудования.

Определим количество станков устанавливаемых в цехе:

$$P_2^{\text{то}} = 15,65/0,8 = 19,56.$$

Принимаем к установке в цехе 20 шлифовально-обдирочных станков.

Проверяем действительное значение коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{P_1^{\text{то}}}{P_2^{\text{то}}}, \quad (2.30)$$

Коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{15,65}{20} = 0,78.$$

## 2.5 Склады литейного цеха

Шихтовые и формовочные материалы поступают на склад в саморазгружающихся вагонах по ж/д путям, расположенных вдоль внешней стены складов, с односторонней загрузкой.

Поступающий песок высыпается из вагонов в разгрузочные ямы, устроенные вдоль путей, откуда он передается мостовым грейферным краном к месту хранения – бетонным закромам; с установленными на них сетками с размерами ячеек 3×3 мм, для отсеивания мусора. Компоненты ХТС поступают в бочках по 200 л и штабелируются в несколько ярусов на разгрузочной площадке.

Оптимальным видом транспорта сухого песка и прочих подготовленных формовочных материалов из склада в цех является пневмотранспорт. По

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

пневмопроводу из бункера, расположенного на участке регенерации отработанных стержневых смесей, на склад поступает регенерированный песок.

Приходящие шихтовые материалы высыпаются или разгружаются мостовым магнитным краном непосредственно в закрома, проходящие вдоль ж/д путей; затем они перегружаются в суточные бункера, находящиеся в этом же пролете. Сюда же доставляют на автопогрузчике возврат собственного производства. [2]

Материалы на склады поставляют ж/д или автомобильным транспортом. В связи с этим по-разному предусматривают разгрузку материалов. Пески, кокс, уголь, глину и другие сыпучие материалы из ж/д вагонов целесообразно разгружать в бункеры самосыпом. Металлические магнитные материалы разгружают мостовым краном с магнитной шайбой, грузоподъемностью 10 т. Шихтовые материалы хранятся в закромах.

На складах средних цехов предусматривают: установки для сушки песка в кипящем слое и хранение его в силосных башнях высотой от 10 до 25 метров; для сушки и размола огнеупорной глины – барабанные сушила и размалывающие бегуны.

Площадь, занимаемую материалом на складе, определяют по формуле

$$F_m = \frac{Q}{H \cdot \gamma \cdot k}, \text{ м}^2 \quad (2.31)$$

где  $Q$  – масса соответствующего материала, хранимого на складе, т;

$H$  – высота хранения материала, м;

$\gamma$  – насыпная масса материала (плотность), т/м<sup>3</sup>;

$k$  – коэффициент использования емкости хранилища (не более 0,8).

Площади складов для хранения нормативного запаса материалов сводятся в таблицу 2.15.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
						53
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 2.15 – Ведомость расчета площади складов

Наименование материала	Годовое количество, т	Насыпная масса, т/м <sup>3</sup>	Нормативный запас хранения, сут.	Количество материала на складе		Высота хранения, м	Площадь хранилища, м <sup>2</sup>	
				т	м <sup>3</sup>		Расчетная	Округлен.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Склад шихтовых материалов								
Шихтовые материалы								
1 Возрат	15001,99	2,5	5	375,05	150,02	4	46,88	49
2 Лом стальной 3А ГОСТ 2787-86	14738,45	2,5	5	368,46	147,38	4	46,06	49
3 Ферросилиций ФС45 ГОСТ 1415-93	21,46	2,5	5	0,54	0,21	2	0,134	1
4 Ферромарганец ФМн75 ГОСТ 4755-91	85,81	2,5	5	2,15	0,86	2	0,536	1
5 Феррохром ФХ70 ГОСТ 4757-91	37,37	2,5	5	0,93	0,37	2	0,234	1
6 Чугун передельный ПЛ2 кл.2 ГОСТ 805-95	1332,42	3	5	33,31	11,10	2	6,940	9
Шлакообразующие материалы								
1 Песок кварцевый	312,18	1,7	10	15,61	9,18	2	5,74	9
2 Известняк ГОСТ 1464-80	312,18	1,7	10	15,61	9,18	2	5,74	9
Итого	31841,86							128

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

54

Окончание таблицы 2.15

Наименование материала	Годовое количество, т	Насыпная масса, т/м <sup>3</sup>	Нормативный запас хранения, сут.	Количество материала на складе		Высота хранения, м	Площадь хранилища, м <sup>2</sup>	
				т	м <sup>3</sup>		Расчетная	Округлен.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Склад формовочных материалов								
Формовочные материалы:								
1. Кварцевый песок 3К <sub>3</sub> О <sub>3</sub> 03 ГОСТ 2138-91	4813,05	1,7	5	120,33	70,78	4	22,12	30
2. Кварцевый песок 1К <sub>3</sub> О <sub>3</sub> 025 ГОСТ 2138-91	1216,01	1,7	5	30,40	17,88	2	11,18	16
3. Глина бентонитовая П <sub>1</sub> Т <sub>2</sub> ГОСТ 28177-89	651,76	1,8	5	16,29	9,05	2	5,66	9
4. Прочие ФМ								10
Итого	6680,82							65

Кроме рассчитанных площадей предусмотрим в цехе площади для хранения связующих компонентов стержневой смеси (30 м<sup>2</sup>), бункер для промежуточного хранения оборотной смеси (20 м<sup>2</sup>), площадку для хранения ферросплавов (20 м<sup>2</sup>), площадку для хранения материалов футеровки (20 м<sup>2</sup>).

Определим общую площадь склада по формуле

$$F_c = K(\sum F_m + F_p), \quad (2.32)$$

где  $F_c$  – общая площадь склада, м<sup>2</sup>;

$\sum F_m$  – сумма округленных площадей хранения каждого материала, м<sup>2</sup>;

$F_p$  – площадь под разгрузочные площадки, м<sup>2</sup>;

$K = 1,4$  – коэффициент учитывающий приемные площади.

									Лист
									55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР				

Разгрузочные площади определим по формуле

$$F_p = nLW, \quad (2.33)$$

где  $n$  – число разгрузочных площадок, шт.;

$L$  – протяженность железнодорожного пути, находящегося в цехе, м;

$W$  – ширина фронта разгрузки по всей протяженности железнодорожного пути, м.

$$F_p = 1 \cdot 80 \cdot 4 = 320.$$

Находим общую площадь склада:

$$F_c = 1,4(283 + 320) = 845.$$

Общая площадь складов составляет 845 м<sup>2</sup>.

## 2.6 Цеховые лаборатории, вспомогательные отделения и участки

В целях обеспечения безостановочной работы технологического и подъемно-транспортного оборудования в цехе предусматривается ремонтно-слесарное отделение. В задачи ремонтно-слесарного отделения входит проведение текущего, профилактического и среднего ремонтов технологического ремонта оборудования цеха, согласно графику планово-предупредительных ремонтов. Материал базы ремонтно-слесарного отделения включает в себя:

- 1) станок токарно-винторезный в количестве 5 шт.;
- 2) станок сверлильный 3 шт.;
- 3) станок вертикально-фрезерный 1 шт.;
- 4) аппарат сварочный 2шт. и прочий инструмент.

Для контроля поступающих в цех материалов, готовой продукции и текущего контроля технологических процессов создаются две лаборатории. Первая находится на территории плавильного отделения и занимается анализом структуры и свойств выплавляемого металла, а также контролем поступающих в

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

цех шихтовых материалов. Вторая лаборатория занимается анализом формовочных и стержневых материалов. Общая площадь лабораторий составляет 60 м<sup>2</sup>. [3]

## 2.7 Внутрицеховой транспорт

Для внутрицеховых грузопотоков в спроектированном цехе используются различные типы подъемно-транспортных устройств. Применяется транспорт периодического действия:

1) кран мостовой магнитно-грейферный, грузоподъемностью до 10 т со съемным грейфером и магнитом; устанавливается на складе основных и вспомогательных материалов в количестве 2 единиц, для разгрузки и складирования поступающих материалов;

2) кран мостовой грузоподъемностью 15 т в количестве 1 единицы; устанавливается в плавильном отделении для транспортировки ковшей с металлом и бады с шихтой;

3) кран мостовой грузоподъемностью 15 т в количестве 1 единицы; устанавливается формовочно-заливочно-выбивном отделении для транспортировки ковшей с металлом;

4) кран мостовой грузоподъемностью 10 т в количестве 2 единицы; устанавливается в термообрубном отделении для транспортировки корзин с отливками;

5) тележка передаточная грузоподъемностью 10 т в количестве 2 штук; применяется для передачи грузов между складами и отделениями цеха: плавильным, стержневым и формовочно-заливочно-выбивным;

6) тележка передаточная грузоподъемностью 15 т в количестве 1 штуки; применяется для транспортировки выбитых отливок в термообрубное отделение.

Для транспортировки сыпучих материалов от мест хранения к источникам потребления применяется трубопроводный транспорт-пневмопровод, общая протяженность которого составляет 150 м. Для манипуляции с грузами в термообрубном отделении также используют электрокары. [7]

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

### 3 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

#### 3.1 Технические условия литой детали «Диск»

Основными техническими условиями для отливки «Диск» являются:

- 1) Точностные параметры отливки 12-0-0-7 по ГОСТР 53464-2009;
- 2) Формовочные уклоны не более 2° ГОСТ 3212-92;
- 3) Литейная усадка 1,5 %;
- 4) Неуказанные радиусы до 10 мм.

В таблице 3.1 приведен хим. состав марки стали 35Л.

Таблица 3.1 – Химический состав стали 35Л по ГОСТ 977-88

Массовая доля, %					
C	Si	Mn	S	P	Fe
0,32...0,40	0,2...0,52	0,4...0,9	До 0,045	До 0,04	~97

Также в стали могут присутствовать Ni, Cr, Cu до 0,3 %.

Данную отливку наиболее целесообразно получать литьем в разовые песчано-глинистые формы. Данная технология основана на заливке разовых разъемных форм. Внешнюю поверхность будущей отливки оформляет форма, а внутреннюю стержень.

#### 3.2 Анализ технологичности

Конструкция детали «Диск» довольно проста, и не испытывает высоких нагрузок. По конфигурации отливку можно представить в виде тела вращения с технологическими окнами.

Конструкция детали довольно технологична для изготовления литьем. Внешняя поверхность легко оформляется формой. Для оформления внутренней

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

поверхности предусмотрим установку одного стержня. Отливка располагается в двух полуформах. Толщина стенок задана интервалом от 30 до 16 мм. Результатом анализа технологичности конструкции литой детали является вывод о том, что все требования предъявляемые к отливки выполнимы из стали 35Л в разовую песчано-глинистую форму.

### 3.3 Выбор способа изготовления отливки

Выбор способа изготовления зависит от серийности производства, технологичности литой детали. С экономической и технологической точек зрения в случае изготовления отливки диск наиболее выгодным является способ литья в разовую песчано-глинистую форму.

Производство данной отливки является серийным, в год отливается 17394 шт. Поскольку в современном производстве рекомендуются высокопроизводительные способы формообразования, то методом формовки выбран Seiatsu процесс. Особенностью данного метода является то, что уплотнение формовочной смеси осуществляется за счет воздушного импульса с последующей подпрессовкой. Преимуществами данного метода по сравнению с традиционными способами уплотнения является более высокая равномерность уплотнения, повышенная размерная точность, более высокая производительность.

Сущность процесса изготовления форм по Seiatsu процессу представлена на рисунке 3.1.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

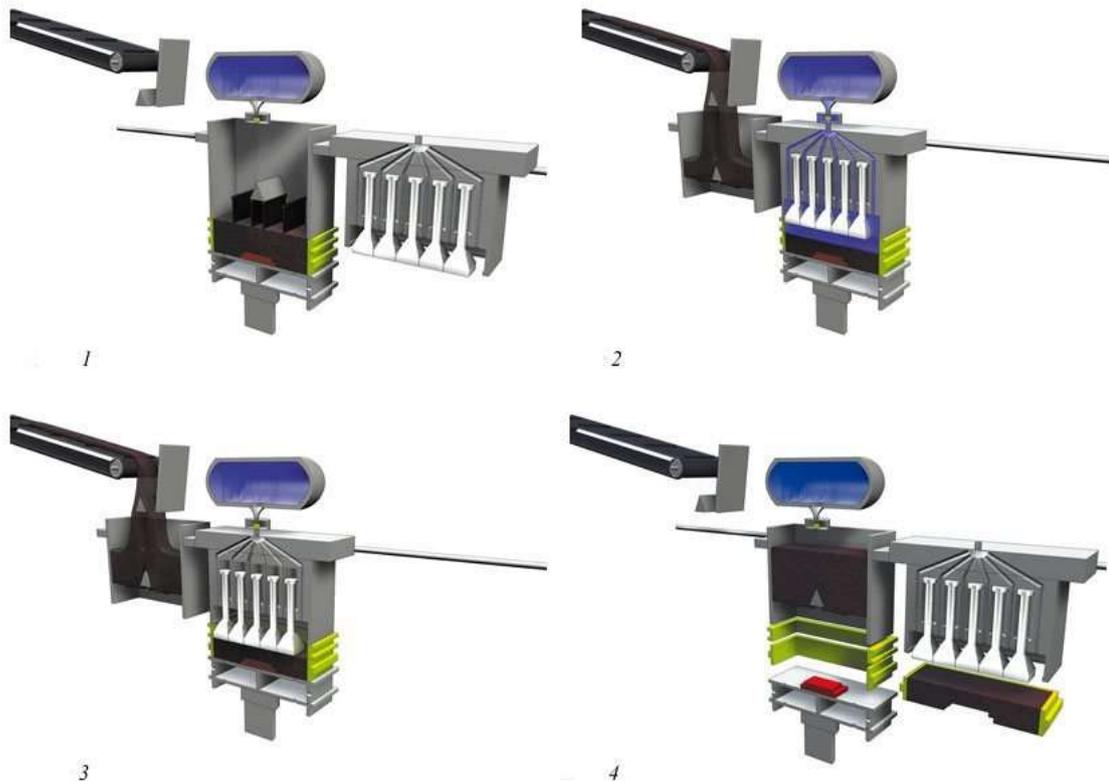


Рисунок 3.1 – Этапы изготовления формы по Seiatu процессу: 1– заполнение опоки; 2 – уплотнение формовочной смеси воздушным потоком; 3 – прессование многоплунжерной головкой; 4 – протяжка моделей.

### 3.4 Технология изготовления литейной формы

#### 3.4.1 Выбор поверхности разъема и положения отливки в форме

Основные рекомендации по выбору положения отливки в форме во время заливки:

- 1) тонкие части отливок располагать внизу, а массивные вверху, что обеспечивает направленность затвердевания;
- 2) по возможности следует избегать отъемных частей на моделях, при том модель должна свободно протягиваться;
- 3) располагать отливку в одной, максимум в двух полуформах;
- 4) стремиться к минимально возможному количеству стержней;
- 5) поверхность разъема должна быть плоской без переходов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

60

В случае изготовления отливки «Диск» располагаем ее вертикально (относительно оси вращения), в обеих полуформах.

Положение отливки в форме во время заливки, а также поверхность разъема показаны на чертеже детали с нанесенными элементами литейной формы.

### 3.4.2 Назначение припусков на механическую обработку

Припуски на механическую обработку назначаются на обрабатываемые поверхности детали с целью получения точного размера. Размер припуска на обработку выбирается в зависимости от номинального размера обрабатываемой поверхности, вида сплава, способа литья. Назначение припусков регламентируется стандартом ГОСТ Р 53464-2009.

Припуски определяются следующим образом:

- 1) определяем общий допуск размера, который включает в себя допуск размера и дополнительный допуск;
- 2) определяем ряд припусков на механическую обработку;
- 3) определяем вид окончательной мех. обработки;
- 4) определяем припуск на механическую обработку.

В технических условиях чертежа заданы:

- 1) класс размерной точности 12;
- 2) степень коробления 5 (табл. Б.1 приложение Б ГОСТ Р 53464-2009);
- 3) степень точности поверхности 12;
- 4) точность массы 7.

Общий допуск определяется путем сложения основного допуска (допуска размера), определяемого из табл. 1 ГОСТ Р 53464-2009, и дополнительного допуска, определяемого из табл. 2 ГОСТ Р 53464-2009, а также допуска неровностей поверхности в зависимости от степени точности из табл. 3 ГОСТ Р 53464-2009, при этом учитываются рекомендации табл. И.1 приложения И ГОСТ Р 53464-2009.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

В зависимости от степени точности поверхности определяется ряд припуска на механическую обработку табл. Е.1 приложения Е ГОСТ Р 53464-2009.

Вид механической обработки назначаем, учитывая шероховатость обрабатываемой поверхности из табл. 6 ГОСТ Р 53464-2009.

По табл. 6 ГОСТ Р 53464-2009 назначаем припуск на механическую обработку на сторону. Определенные припуски приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Припуски на механическую обработку

Класс размерной точности	12		
Номинальный размер, мм	487	180	110
Общий допуск на размер и его предельное значение, мм	9,0+1,2+1,0 (11,2) 10	7,0+1,5+0,5 (9) 8	6,4+1,0+0,32(7,72) 7
Шероховатость (Ra)	20	20	2,5
Вид окончательной механической обработки	получистовая	получистовая	чистовая
Степень точности поверхности	12	12	12
Ряд припусков на обработку	5	5	5
Припуск на сторону, мм	8	6	7

### 3.4.3 Определение формовочных уклонов и радиусов закругления

Формовочные уклоны необходимы для предотвращения подрывов формы, они назначаются на поверхности перпендикулярные разьему формы. Формовочные уклоны придаются моделям отливки а также стержневым ящикам, даже если конструктивно уклоны не предусмотрены. [4]

Размер формовочных уклонов определяется по ГОСТ 3212-92. Для центральной цилиндрической части модели уклоны составляют 0,75...1,00 мм.

### 3.4.4 Назначение и определение размеров прибылей

Поскольку углеродистая сталь имеет довольно большую литейную усадку (порядка 1,5...2 %), необходимо назначить прибыли с целью предотвращения образования усадочных дефектов. [4]

Для определения объема прибылей используем методику Й. Пржибыла. Объем прибыли найдем по формуле:

$$V_{\Pi} = V_y \frac{\beta \varepsilon_v}{1 - \beta \varepsilon_v}, \quad (3.1)$$

где  $\beta$  – отношение объема прибыли к объему усадочной раковины, для закрытой прибыли  $\beta=11$ ;

$\varepsilon_v$  – часть объемной усадки, участвующей в образовании усадочной раковины, для углеродистой стали равен 0,045;

$V_y$  – объем питаемого узла, (см<sup>3</sup>).

Масса отливки равна 54 кг.

Посчитаем объем питаемого узла отливки (центральная цилиндрическая часть).

$$V_y = 3300 \text{ см}^3,$$

Объем прибыли равен:

$$\Sigma V_{\Pi} = 3300 * \frac{11 * 0,045}{1 - 11 * 0,045} = 3235 \text{ см}^3,$$

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На одну отливку приходится одна закрытая прибыль, расположенная на верхней цилиндрической части диска. Объем прибыли равен 3600 см<sup>3</sup>. Прибыль в сечении имеет усеченную цилиндрическую форму. Размеры прибыли: нижнее основание  $\varnothing 160$  мм, высота 180 мм, прибыль усечена на 25 мм для предотвращения всплытия стержня.

Рассчитаем технологический выход годного по формуле:

$$ТВГ = \frac{V_0}{(1-\varepsilon)(V_0+V_{II})} 100 \%, \quad (3.2)$$

$$ТВГ = \frac{4500}{(1 - 0,045)(4500 + 3600)} 100 \% = 58 \%.$$

ТВГравный 58 % удовлетворяет экономическим условиям производства детали.

С целью анализа возникновения усадочных дефектов проведено моделирование литейных процессов в программах SolidCast, а также LVMFlow.

Для этого была построена трехмерная модель отливки с ЛПС в программе SolidWorks. Трехмерная модель отливки «Диск» с ЛПС показана на рисунке 3.2.

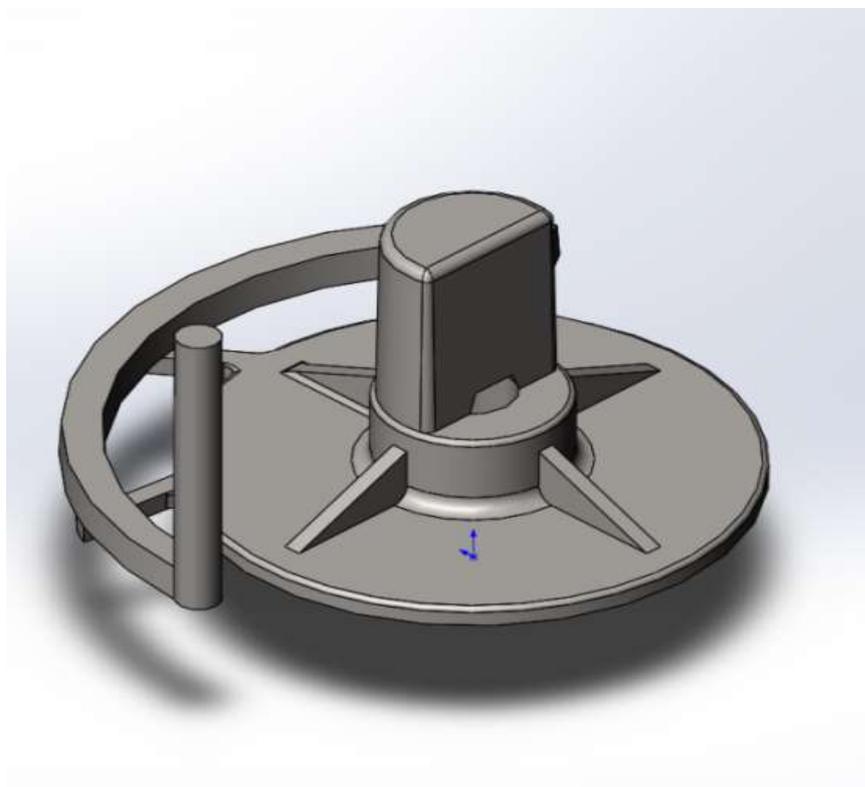


Рисунок 3.2 – Трехмерная модель отливки «Диск» с ЛПС

Анализ результатов моделирования показал, что разработанная конструкция ЛПС обеспечивает получение годной отливки. На рисунке 3.3 приллюстрированы результаты моделирования в программах SolidCast, LVMFlow на усадочные дефекты.

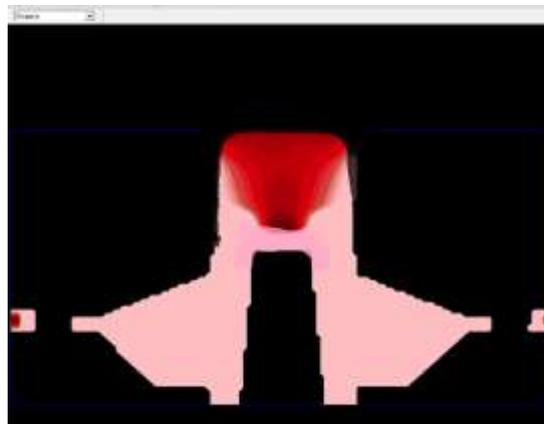


Рисунок 3.3 – Результаты моделирования на усадочные дефекты

### 3.4.5 Разработка конструкции и расчет литниковой системы

Наиболее простым и рациональным способом подвода металла в полость формы является подвод по разъему.

Расчет проведем с учетом того, что заливка осуществляется из чайникового ковша.

Оптимальную продолжительность заливки формы определяется по формуле:

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \sqrt[3]{\delta G}, \quad (3.3)$$

где  $\tau_{\text{опт}}$  – оптимальная продолжительность заливки, с;

$S_1$  – коэффициент продолжительности заливки;

$\delta$  – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

$G$  – масса жидкого металла на отливку в форме, кг.

Масса жидкого металла вычисляется по формуле:

$$G = G_{\text{отл}} + G_{\text{пр}} + G_{\text{л.с.}}, \quad (3.4)$$

где  $G_{\text{отл}}$  – масса отливки;

$G_{\text{пр}}$  – масса прибыли;

$G_{\text{л.с.}}$  – масса литниковой системы.

Масса прибыли находится по формуле:

$$G_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \rho_{\text{Ме}} \quad (3.5)$$

где  $V_{\text{пр}}$  – объем прибыли;

$\rho_{\text{Ме}}$  – плотность металла.

$$G_{\text{пр}} = 3880 * 7,83 = 31 \text{ кг},$$

$$G_{\text{отл}} = 54 \text{ кг}.$$

Массу литниковой системы примем 20% от массы отливки, тогда масса жидкого металла будет равна

$$G = 31 + 54 + 54 * 0,2 = 95 \text{ кг}.$$

Оптимальная продолжительность заливки составит

$$\tau_{\text{опт}} = 1,5 * \sqrt[3]{25 * 95} = 20 \text{ с}.$$

Средняя скорость заливки  $V_{\text{ср}}$  определяется по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{C}{\tau_{\text{опт}}} \leq V_{\text{доп}}, \quad (3.6)$$

где  $C$  – высота отливки над питателями (80 мм);

$V_{\text{доп}}$  – минимально допустимая скорость подъема уровня металла в форме (для  $\delta = 25$  мм,  $V_{\text{доп}} = 20 \dots 10$  мм/с).

$$V_{\text{ср}} = \frac{300}{20} = 15 \text{ мм/с}.$$

Полученное значение  $V_{\text{ср}}$  входит в интервал скорости  $V_{\text{доп}}$ .

Далее необходимо определить площадь самого узкого сечения литниковой системы. Суммарная площадь самого узкого сечения литниковой системы определяется по формуле:

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_{\text{уз.ф}} = \frac{G}{\tau_{\text{опт}} \rho \mu_{\text{ф}} \sqrt{2gH_{\text{ср}}}}, \quad (3.7)$$

где  $F_{\text{уз.ф}}$  – суммарная площадь узкого сечения литниковой системы, м<sup>2</sup>;

$\mu_{\text{ф}}$  – гидравлический коэффициент сопротивления формы, 0,32;

$H_{\text{ср}}$  – средний металлостатический напор в форме.

Средний металлостатический напор найдем по формуле:

$$H_{\text{ср}} = H - \frac{P^2}{2C}, \quad (3.8)$$

где  $H$  – высота от воронки до питателей, 300 мм;

$P$  – высота отливки над питателями, 300 мм;

$C$  – высота отливки по положению в форме, 408 мм.

$$H_{\text{ср}} = 300 - \frac{300^2}{2 * 408} = 190 \text{ мм.}$$

Тогда  $F_{\text{уз.ф}}$  будет равняться

$$F_{\text{уз.ф}} = \frac{95}{20 * 7830 * 0,32 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,190}} = 9,9 * 10^{-4} = 9,9 \text{ см}^2.$$

Согласно технологии примем три питателя на одну отливку. Для мелких стальных отливок рекомендуется применение сужающихся литниковых систем, в которых  $F_{\text{уз.ф}}$  является суммарным сечением питателей. Для таких систем рекомендуется следующее соотношение площадей их ходов:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,2 \quad (3.9)$$

где  $\sum F_{\text{пит}}$  – суммарная площадь питателей;

$\sum F_{\text{шл}}$  – площадь шлакоуловителя;

$\sum F_{\text{ст}}$  – площадь сечения стояка.

Исходя из этого соотношения находим суммарные площади сечений шлакоуловителя и стояка:

$$\sum F_{\text{шл}} = 1,1 * 9,8 = 11 \text{ см}^2$$

$$\sum F_{\text{ст}} = 1,2 * 9,8 = 12 \text{ см}^2$$

Сечение питателя имеет трапециевидную форму, исходя из этого найдем размеры сечения питателя:

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$$F = \frac{a + b}{2} * h = \frac{a + 0,8a}{2} * a = 0,9a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{F_{\text{пит}}}{0,9}} = \sqrt{\frac{3,3}{0,9}} = 20 \text{ мм}$$

Тогда  $b = 0,8 * a = 16 \text{ мм}$ ,  $h = a = 20 \text{ мм}$ . На рисунке 3.4 приведен эскиз сечения питателя.

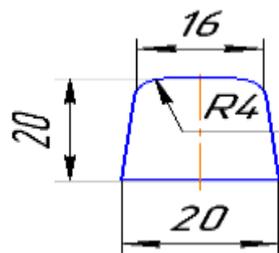


Рисунок 3.4 – Размеры сечения питателя

Сечение шлакоуловителя также имеет трапециевидную форму, поэтому размеры сечения определяются аналогично.  $F_{\text{шл}} = 0,9a^2$ , тогда

$$a = \sqrt{\frac{F_{\text{шл}}}{0,9}} = \sqrt{\frac{11}{0,9}} = 35 \text{ мм.}$$

тогда  $b = 0,8a = 28 \text{ мм}$ ,  $h = a = 35 \text{ мм}$ .

Эскиз сечения шлакоуловителя изображен на рисунке 3.5.

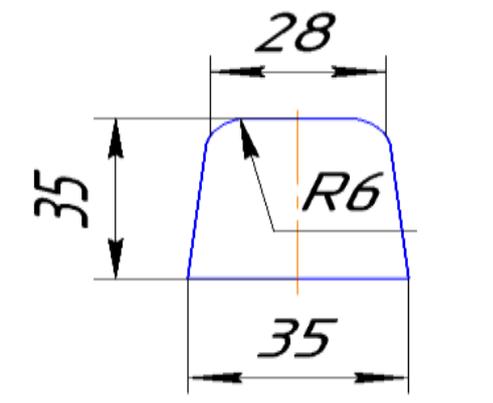


Рисунок 3.5 – Размеры сечения шлакоуловителя

Стойк в своем основании имеет форму окружности, поэтому найдем диаметр из известного соотношения:

$$F_{\text{ст}} = \frac{\pi * d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{ст}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 12}{\pi}} = 40 \text{ мм.}$$

Сечение стойка изображено на рисунке 3.6 .

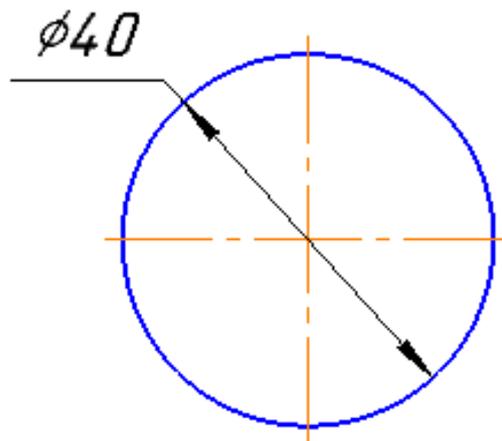


Рисунок 3.6 – Размеры сечения стойка

### 3.4.6 Определение размеров знаков стержня и назначение зазоров

Конструкция стержня состоит из тела, которое формирует внутреннюю полость отливки, и знаков, которые служат для надежной его фиксации. В стержнях выполняются газоотводные наколы с целью вывода газов, образующихся при заливке. [4]

Точность установки и надежность крепления стержня определяются грамотным назначением знаковых частей и зазоров под их установку, по которым выполняется модель. Размеры зазоров должны быть оптимальными, так как при их отсутствии невозможно собрать форму без ее разрушения, а при слишком больших зазорах появляются заливы металла, нарушается газоотвод, что приводит к браку.

Размеры и конфигурация стержня определяются чертежом отливки, а размеры и конфигурация знаков регламентируются требованиями ГОСТ 3212-92. В случае изготовления отливки «Диск» используем один стержень.

Для вертикального стержня (оформляющего внутреннюю полость) длиной 192 мм и диаметром 96 мм высота нижнего знака составит 40 мм, зазоры  $S_1=0,5$  мм,  $S_2=0,5$  мм. Уклон на нижнем знаке  $10^\circ$ , на верхнем знаке  $15^\circ$ , высота верхнего знака 20 мм.

### 3.4.7 Определение размеров опок

Выбирая размеры опок необходимо стремиться к максимальному использованию объема формовочной смеси при этом прочность формы должна обеспечивать получение годных отливок и равномерность затвердевания отливок.

Наименьшие допустимые расстояния между моделями и элементами формы определяются в зависимости от массы отливки.

Для отливки массой менее 100 кг:

- 1) между верхней поверхностью модели и верхней поверхностью формы – 30 мм;
- 2) между нижней поверхностью модели и нижней поверхностью формы – 70 мм;
- 3) между моделью и опокой – 50 мм;
- 4) между стояком и опокой – 50 мм;
- 5) между моделью и шлакоуловителем – 40 мм.

Основным формовочным оборудованием является автоматическая формовочная машина HWS (Германия), модель EFA – SD, паспортная производительность 80 форм в час. Внутренние размеры опок 800 x 700 x 300 (длина x ширина x высота). В опоке располагается одна отливка. С целью предотвращения выхода металла по разьему форму предусмотрено их скрепление скобами в количестве 4 шт. [1]

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

### 3.5 Технология сборки, заливки форм, выбивки и очистки отливок

#### 3.5.1 Разработка технологии сборки и заливки форм

Очистка и сьем подмодельных плит, установка опок, кантование опок на формовочной линии автоматизированы.

Подмодельные плиты имеют специальные отверстия – венты, необходимые для осуществления формообразования. Для выхода газов в форме выполняются специальные вентиляционные наколы. Конструкция опок также предусматривает отверстия для выхода газов. Температура расплава на выпуске из печи составляет 1560 °С. Разливка поворотными ковшами осуществляется при температуре 1540 °С.

#### 3.5.2 Выбивка и очистка отливок

После заливки и охлаждения отливок на ветви охлаждения формовочной линии опоки направляются для выбивки на инерционную виброрешетку. После выбивки отливки перегружаются в корзины и направляются в термообрубное отделение, где при помощи газорезки отделяются элементы ЛПС, далее очистка отливок происходит в дробеметном барабане, после чего годные отливки направляются на термообработку а дефектные на исправление дефектов методом заварки. После заварки осуществляется зачистка остатков ЛПС на шлифовальных кругах. Бракованные отливки направляют в корзину с возвратом.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

### 3.6 Контроль качества отливок

Важнейшим этапом производства отливок является контроль качества отливок. На первом этапе должны контролироваться все входные материалы, песок, глина, шихтовые материалы, смолы, также все материалы должны иметь сопроводительные документы, согласно которым поставщик гарантирует качество поставляемых материалов и изделий.

Шихтовые материалы необходимо проверять анализируя химический состав спектрометром «Искролайн», формовочные пески проверяют на зерновой состав прибором модели 029 фирмы «Литмашприбор». Песчано-глинистые смеси контролируют на прочность при сжатии и газопроницаемость. Стержни после набивки контролируются визуально, все дефекты зачищаются.

Расплав перед выпуском в ковш контролировать на хим. состав путем взятия экспресс-проб. После окончания тех. процесса изготовления отливок производится разметка и контроль размеров литья с помощью шаблонов, мерительных инструментов. Годные отливки взвешиваются, грунтуются и направляются на склад готовой продукции. Бракованные отливки и остатки отделенных ЛПС направляются в корзины с возвратом.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

## 4 РАФИНИРОВАНИЕ РАСПЛАВА ПРОДУВКОЙ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

### 4.1 Общие положения продувки металла инертными газами

К отливкам второй и третьей группы предъявляются высокие требования не только по химическому составу стали, но и по механическим свойствам. Для обеспечения необходимой микроструктуры стали применяют различные способы внепечной обработки. Наибольшее распространение в литейных цехах получили агрегаты вакуумирования и продувки металла инертными газами. Главная задача таких способов вакуумирования состоит в уменьшении содержания неметаллических и газовых включений, а также при помощи продувки дополнительно достигается гомогенизация расплава. При этом при продувке инертными газами с принципиальной точки зрения оказывается аналогичное влияние на расплав, что и при вакуумировании, так как каждый из пузырьков вдуваемого газа по сути является маленькой вакуумной камерой, т.к. внутри этих пузырей парциальное давление удаляемых газов равно нулю. Продувка металла инертным газом также приводит к интенсивному перемешиванию расплава, усреднению его теплофизических характеристик, что приводит к усреднению химического состава. Также при продувке наблюдается большая эффективность захвата и вывода в шлак неметаллических включений посредством флотационного воздействия. Операция продувки способствует снижению температуры обрабатываемого металла, что дает дополнительные возможности при регулировании температуры заливки в формы.

Главным преимуществом продувки металла инертным газом в ковше перед вакуумированием является экономичность и простота организации технологического процесса. Продувка осуществляется либо через специальные пористые донные пробки, либо через ложный полый стопор. Основные цели, достигаемые путем введения операции продувки металла в ковше:

1. снижение содержания газов;

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

2. гомогенизация расплава, вывод неметаллический включений в шлаковую фазу;

3. понижение температуры расплава.

Способ рафинирования металла продувкой инертными газами получил свое распространения после того как была освоена промышленная технология получения газообразного аргона как побочного продукта при получении кислорода. Поэтому если на предприятия имеется мощная кислородная станция, то попутно выделяющегося аргона вполне хватает для обработки стали.

Если металл не содержит в своем составе нитридообразующих элементов, таких как хром, ванадий, титан, то целесообразней использовать более дешевый, по сравнению с аргоном, азот. При 1550...1600 °С процесс растворения азота в стали не получает заметного развития. Расход инертного газа составляет обычно 0,1...3,0 м<sup>3</sup>/т стали. Во время продувки наблюдается значительное снижение температуры обрабатываемого расплава, в среднем это снижение составляет 2,0...4,0 °С/мин (при том без применения продувки понижение температуры составляет около 1,0 °С/мин).

Выделяют два варианта организации продувки металла аргоном. Самым простым, но менее эффективным является использование продувочной формы в виде ложного стопора. Положительным моментом применения ложного стопора является безопасность процесса продувки при таком способе подвода аргона к расплаву, так как никакие конструктивные изменения ковша в таком случае не требуются, но в тоже время стойкость футеровки такого стопора низкая, что требует частой ее замены . На рисунке 4.1 показана продувочная фурма в виде ложного стопора.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
						74
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

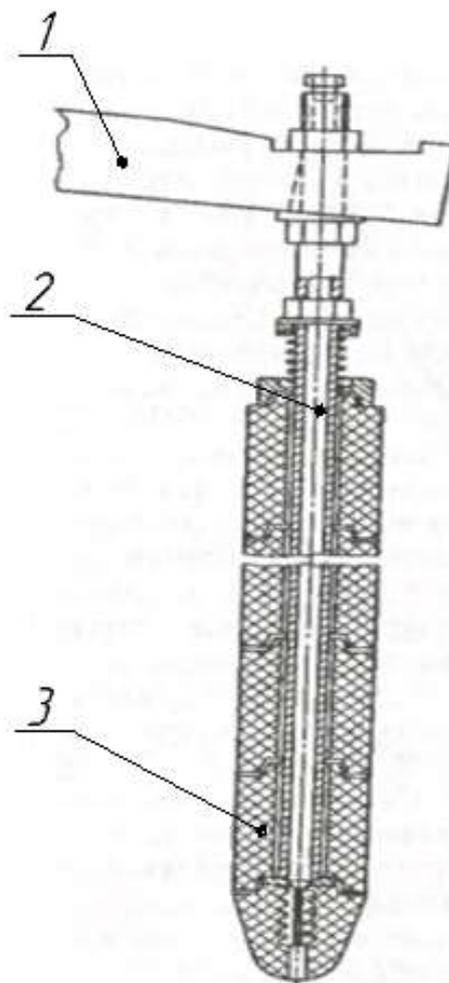


Рисунок 4.1 – Конструкция фурмы в виде ложного стопора для продувки металла аргоном: 1 – консольный держатель; 2 – аргонопровод; 3 – футеровка в виде ложного стопора.

Но все-таки наибольшее применение при организации продувки нашли пористые огнеупорные пробки, которые пропускают вдуваемый газ, но в тоже время препятствуют утечке металла из ковша. Пористые донные пробки имеют хорошую газопроницаемость при этом также имеют высокую огнеупорность, так как их рабочая температура может достигать до 1650 °С. На рисунке 4.2 представлен конструктивная схема донной продувочной пробки.

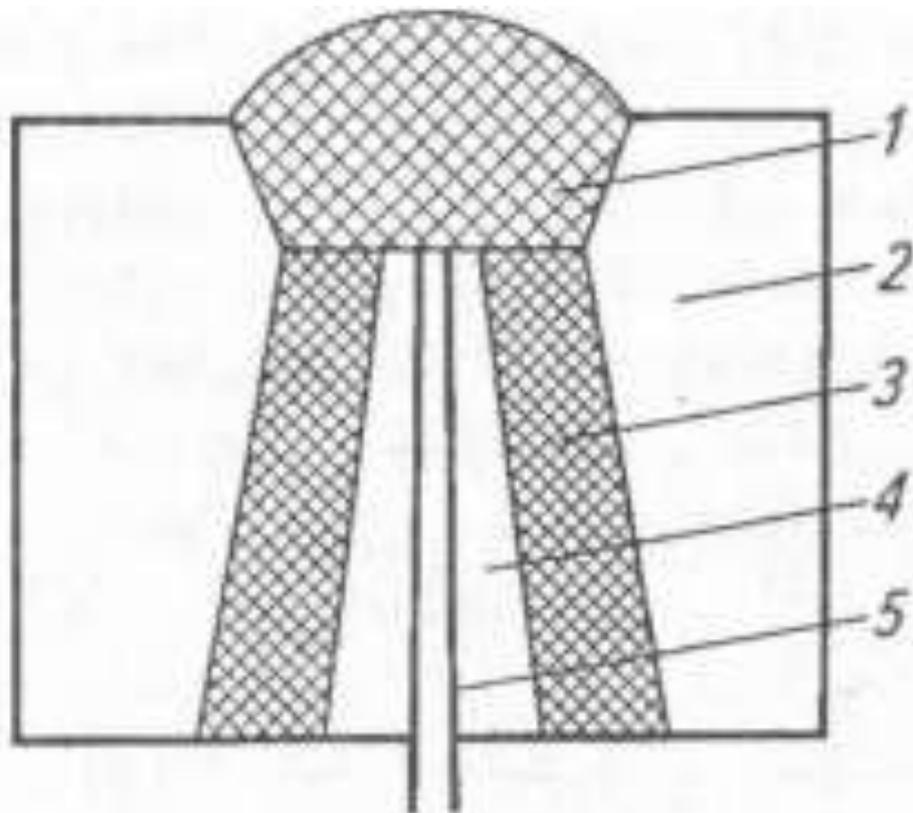


Рисунок 4.2 – Конструктивная схема донной пробки для продувки металла инертным газом в ковше: 1 – огнеупорная пробка; 2 – огнеупорный корпус; 3 – пустотелый кирпич; 4 – огнеупорная оболочка газоподвода; 5 – газоподвод стальной.

Большое распространение за рубежом нашел метод продувки инертным газом через пористое днище ковша (в зарубежной литературе такая технология обозначается SS (от англ. strongstirring – сильное перемешивание). Главным преимуществом такого способа подвода инертного газа является то, что стойкость пористого днища такова, что его замена осуществляется только во время планового ремонта, т.е. пористое дно служит весь рабочий цикл ковша. [9]

С увеличением расхода инертного газа увеличивается степень протекания основных процессов, возникающих при продувке металла:

1. при расходе до  $0,5 \text{ м}^3/\text{т}$  стали достигается усреднение хим. состава и температуры;
2. при расходе выше  $0,5 \text{ м}^3/\text{т}$  и до  $1,0 \text{ м}^3/\text{т}$  наблюдается удаление неметаллических включений;

3. дегазация расплава начинается при расходе газа 2...3 м<sup>3</sup>/т металла.

Следует отметить, что существуют различные варианты реализации продувки металла инертными газами. Конечный вариант организации участка продувки металла выбирается из конкретных характеристик и целей проектируемого или уже имеющегося цеха. На рисунке 4.3 показаны различные варианты организации продувки металла инертными газами в ковше. [9]

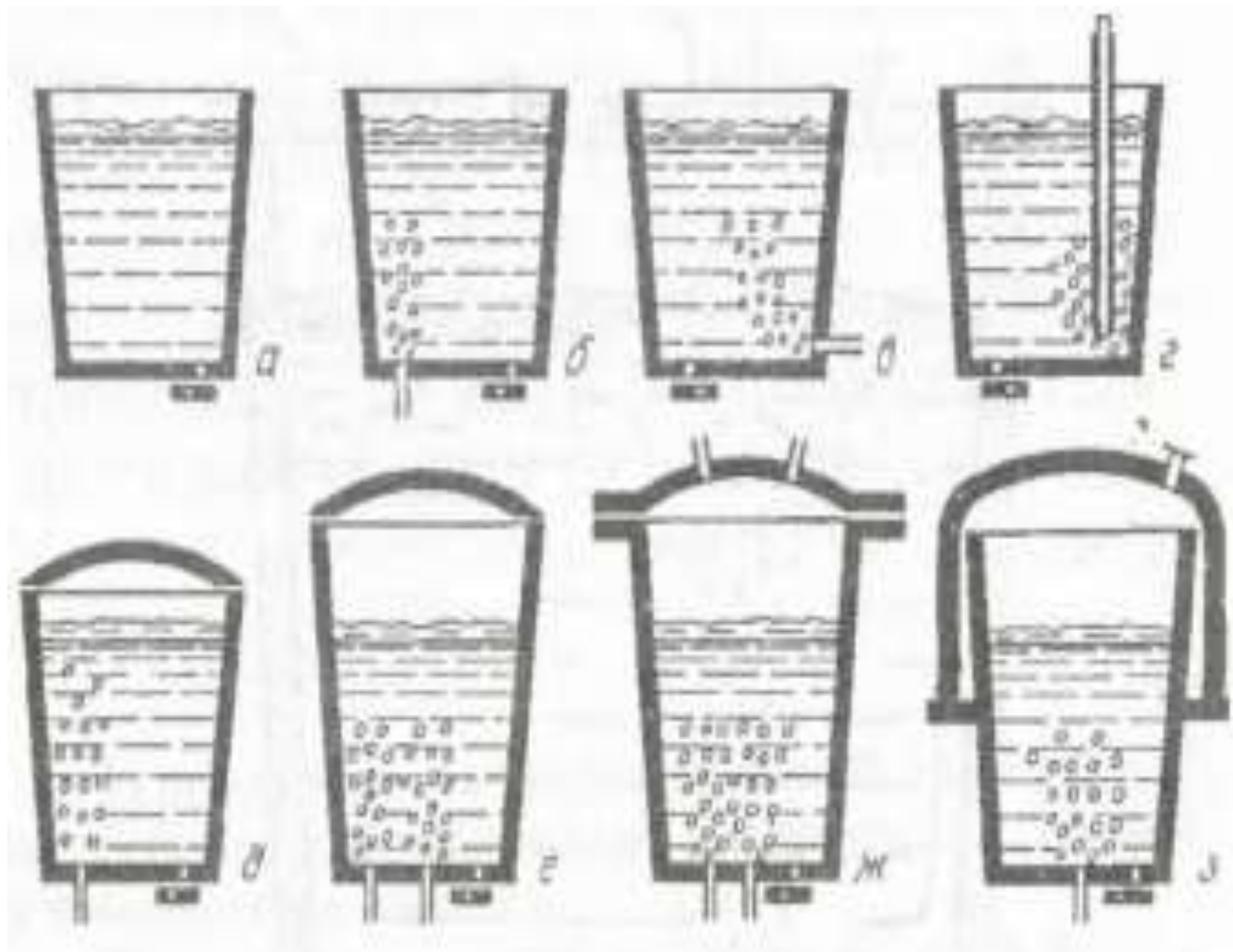


Рисунок 4.3 – Различные варианты организации продувке металла инертными газами в ковше: а – ковш, снабженный затвором шибберного типа; б – продувка через пористую пробку в днище ковша; в – подача газа через стенку ковша; г – продувка через ложный стопор; д – продувка металла в ковше, накрытом крышкой; е – интенсивная продувка через ряд фурм или пористое днище; ж – продувка снизу в ковше с крышкой, через которую вводят добавки; з – продувка в ковше под вакуумом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

77

## 4.2 Продувка металла аргоном

В проектируемом цехе продувка инертным газом будет применяться только для отливок ответственного назначения, получаемых из легированной стали 35ХГСЛ по ГОСТ 977-88, поэтому газом для продувки выбран аргон, т.к. более дешевый азот не подходит по причине высокой склонности лигирующих элементов к образованию нитридов.

Аргон представляет собой инертный (нейтральный) газ, имеющий следующие физические характеристики:

1. температура кипения – (-185,88) °С ;
2. температура плавления – (-189,37) °С;
3. удельная теплоемкость – 523 Дж/кг;
4. плотность (при 0°С и 760 мм рт. ст.) – 1,784 кг/м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что аргон по плотности тяжелее воздуха, поэтому при утечке его в больших количествах он может вытеснить воздух из непроветриваемых низин помещений, которые ввиду этого становятся опасными для жизни.

Аргон был впервые получен в 1894 г. английскими учеными У. Рамзаем и Дж. Рэлеем из воздуха, в котором его содержание составляет 0,933 %. Широкое практическое применение аргона в металлургии началось только во второй половине XX в., когда было налажено его получение в больших объемах (попутно с получением кислорода из воздуха) и с требуемой чистотой (содержание азота 0,0003...0,0005% и кислорода до 0,0001%).

При организации участка продувки металла аргоном достигаются следующие цели:

1. охлаждение металла (на 10...15 °С);
2. равномерное распределение хим. состава и температуры расплава (гомогенизация);
3. флотационное очищение расплава от неметаллических включений
4. дегазация металла (удаление водорода, частично азота);

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Удельный расход аргона на продувку металла в ковше бывает максимальным при дегазации и особенно глубоком обезуглероживании металла и может составить 5...10 м<sup>3</sup>/т, что может вызвать охлаждение расплава на 10...20 °С. В этом случае продолжительность продувки доходит до 20 мин, во время которой металл обычно охлаждается со скоростью 0,5...1 °С/мин (в зависимости от вместимости ковша) ввиду потери тепла в окружающую среду. Следовательно, общее охлаждение металла может составить до 50 °С.

Удельный расход аргона для решения других технологических задач обычно составляет 0,5...1 м<sup>3</sup>/т, что вызывает охлаждение металла всего на 1...2 °С. Продолжительность продувки в этих случаях не превышает 10...15 мин, поэтому общее охлаждение обычно не более 20 °С.

Рафинирующее действие аргона, как правило, используется не полностью ввиду недостаточности кинетических условий взаимодействия пузырей аргона с жидким металлом для полной реализации термодинамических возможностей перехода в пузыри аргона молекул СО (при обезуглероживании) и Н<sub>2</sub> (при дегазации). Это вызывается в основном недостаточной поверхностью раздела фаз газ – металл и малым временем взаимодействия их. То и другое происходит из-за чрезмерно больших размеров пузырьков. Поэтому при продувке металла аргоном в ковше очень важно обеспечение максимального уменьшения размеров пузырьков. Тогда происходит как огромное увеличение их общей поверхности, т.е. поверхности взаимодействия газ – металл, так и увеличение времени нахождения пузырьков в металле, поскольку скорость всплывания мелких пузырей существенно меньше, чем крупных. Согласно закону Стокса, скорость подъема пузырьков пропорциональна квадрату радиуса пузыря. На рисунке 4.4 представлена зависимость общей площади поверхности газовых пузырей, образовавшихся из 1 литра аргона, от их диаметра. [9]

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

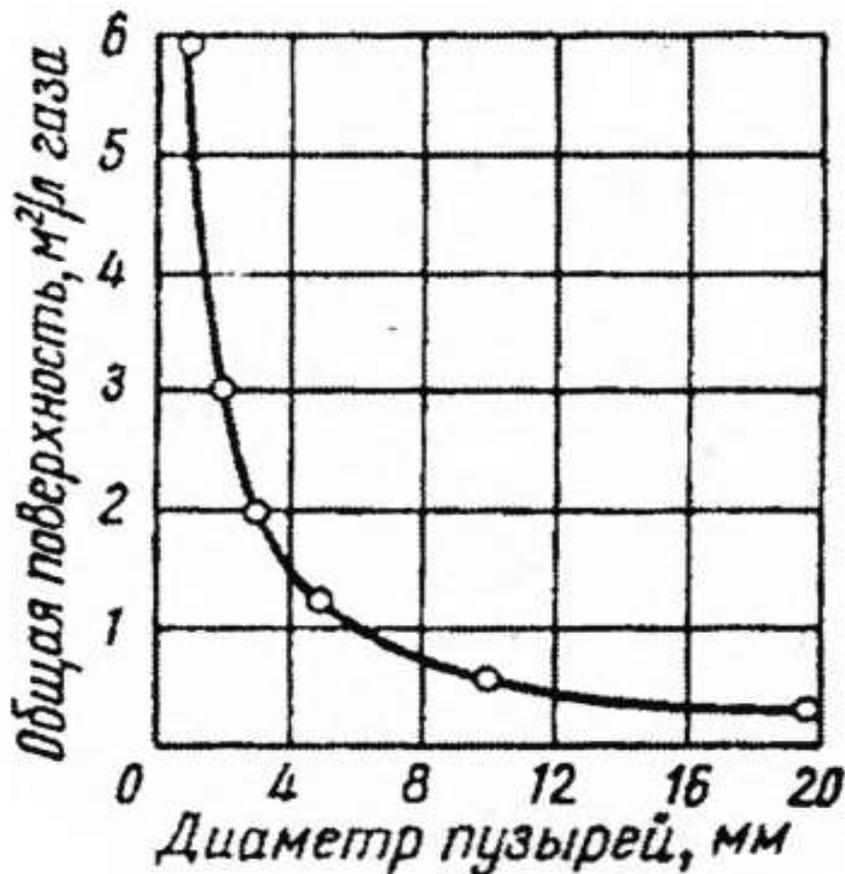


Рисунок 4.4 – Зависимость общей поверхности газовых пузырей, образовавшихся из 1 литра аргона, от их диаметра

Идеальным является такой режим ввода аргона в металл, когда газ дробится на мелкие пузыри, распределяющиеся равномерно по всему объему расплава. К сожалению, попытки обеспечить такой режим пока не увенчались успехом, однако к этому необходимо стремиться. На проектируемом в цехе участке продувки металла аргоном применим продувку через пористые донные фурмы, т.к. такой вариант обеспечивает наилучшие гидродинамические условия взаимодействия металла и вводимого в него газа. Основные требования к пористым огнеупорным фурмам: обеспечивать тонкое распыление аргона на мелкие пузыри и пропускать требуемое количество газа за отведенное время. [9]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР

Лист

80

### 4.3 Организация участка продувки металла аргоном

Для размещения участка продувки металла аргоном в ковше и проверки работоспособности донной продувочной фурмы используются свободные площади плавильного участка литейного цеха. См. планировку литейного цеха. Указанный участок располагается на пролёте Ж – Е, осях 7 – 9. Масса продуваемого металла 1800 т/год, продуваются только плавки стали 35ХГСЛ для отливок «Водило» ответственного назначения в стопорных раздаточных ковшах емкостью 6 т.

При вводе в эксплуатацию участка для продувки металла аргоном в ковше и участка проверки и восстановления работоспособности донной фурмы требуются:

1. кислород газообразный технологический, чистота не менее 95 %, давление 0,5 МПа;

2. аргон газообразный для продувки жидкого металла в ковше ГОСТ 10157-2016, чистота не менее 99,9 %, избыточное давление 0,6 МПа (1,2 МПа кратковременно для подрыва корочки);

3. природный газ, избыточное давление 0,055 МПа.

Потребности в энергоносителях, м<sup>3</sup>/год:

1. кислород - 90;

2. аргон - 90;

3. природный газ - 520.

Участок продувки металла аргоном оборудуется подставкой для установки сталеразливочного ковша и площадкой для наблюдения за зеркалом металла при продувке. Для подачи аргона предусмотрена установка одной аргонной рампы из трех баллонов. Давление аргона в баллоне 20 МПа. Редуктор рампы настроен на 1,2 МПа. Для продувки металла используется аргон чистотой 99,9 % по ГОСТ 10157-2016. На площадке имеется вентиль для регулирования подачи аргона, а также манометр для измерения его давления. Разводка от рампы до площадки и далее до места подсоединения аргонопровода к ковшу производится трубопроводом Ду 20. Непосредственно к ковшу подвод аргона производится

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

резинотканевым рукавом с помощью быстроразъемного соединения. Участок проверки работоспособности и восстановления донной фурмы оснащается стендом (ложементом) для укладки ковша и защитным экраном. К этому участку подводится природный газ и технологический кислород. Для подачи природного газа используется цеховая магистраль. Подвод природного газа к ковшу осуществляется аналогично подводу аргона. Давление природного газа 0,055 МПа. На трубопроводе подвода природного газа имеется вентиль. Подвод кислорода к участку проверки работоспособности фурмы осуществляется от кислородной рампы из трех баллонов. Давление кислорода в баллоне составляет 20 МПа. Редуктор рампы настроен на 1,3 МПа. На подводе кислорода к участку устанавливается регулирующий вентиль и манометр для измерения давления. К трубе, подводящей кислород, с помощью резинотканевого рукава подсоединяется кислородная трубка, которая служит рабочим инструментом при очистке продувочной фурмы. Изготовление, монтаж и испытание трубопроводов кислорода выполняется в соответствии с требованиями действующих правил: ПБ 03-583-03, ВСН 10-83.

#### 4.4 Основные технологические решения при продувке металла аргоном в ковше, проверке и восстановлении работоспособности донной фурмы

Металл из электропечи выпускают в раздаточный ковш емкостью 6 т вместе со шлаком. Схема подвода аргона, природного газа, кислорода к стенду продувки металла в ковше приведена в графическом приложении к дипломному проекту.

Подготовка аргонопровода к работе. Внешним осмотром убедиться, что:

1. баллоны аргона подсоединены к разрядной рампе и закреплены в шкафу;
2. манометр коллектора аргонопровода показывает «0»;
3. редуктор аргона установлен на аргоновой рампе, регулировочный винт редуктора выкручен до ослабления пружины, входной манометр редуктора

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

показывает «0». Выходной штуцер редуктора подсоединен к коллектору аргонопровода (Ду 20) медной трубкой;

4. вентиль № 1а Ду 20 – закрыт;

5. резиноканевый рукав, идущий от вентиля, не имеет механических и термических повреждений, без пережимов;

6. быстроразъемное соединение без механических повреждений и чистое.

Перед установкой ковша с металлом на стенд продувки аргоном необходимо:

1. открыть вентиль баллона аргона полностью, убедиться по входному манометру редуктора в наличии давления аргона в баллоне (20 МПа);

2. закручивая регулирующий винт редуктора установить давление аргона в коллекторе 0,12 МПа, ориентируясь на выходной манометр редуктора.

После установки ковша с металлом на стенд продувки подсоединить быстроразъемное соединение к ковшу. Регулирующим вентилем №1а отрегулировать подачу аргона в ковш металла номинальным давлением 0,06 МПа, ориентируясь на манометр после вентиля №1а (в случае не прохода аргона для прорыва пробки давление увеличивают до 0,12 МПа и быстрым уменьшением давления до величины продувки).

Расход аргона на перемешивание контролируют визуально: над донной фурмой должна наблюдаться зона циркуляции шлака (если шлак покрылся корочкой, её пробивают), но оголения металла не допускается. Для такого режима номинальный расход аргона – 3 м<sup>3</sup>/ч (зависит от состояния фурмы). Умеренный режим подачи аргона поддерживают не менее 5 минут (операция может быть совмещена с введением модификаторов). После прекращения подачи аргона замеряют температуру, отсоединяют аргонопровод и ковш передают на разливку. Номинальный расход аргона на продувку ковша ёмкостью 6 т – 0,30 м<sup>3</sup>. В стандартный баллон при полной заправке (20,0 МПа) закачивается 6,0 м<sup>3</sup> аргона. Из баллона можно выбрать от 5,0 до 5,5 м<sup>3</sup> аргона. С учётом неизбежных потерь аргона при продувке, отключении аргонопровода и возможном перерасходе по мере зарастания каналов фурмы одного баллона должно хватить

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

на обработку 10...15 плавов металла. За счет усреднения температуры металла при продувке аргоном снижение температуры составляет 10...15 °С. С учетом естественных теплопотерь металла в ковше 3...4 °С/мин, общее снижение температуры за 5 минут продувки может достигать 25...35 °С. На рисунке 4.5 показана зависимость изменения температуры металла в ковше в зависимости от времени продувки (практические данные взяты с предприятия АО «Копейский машзавод»).

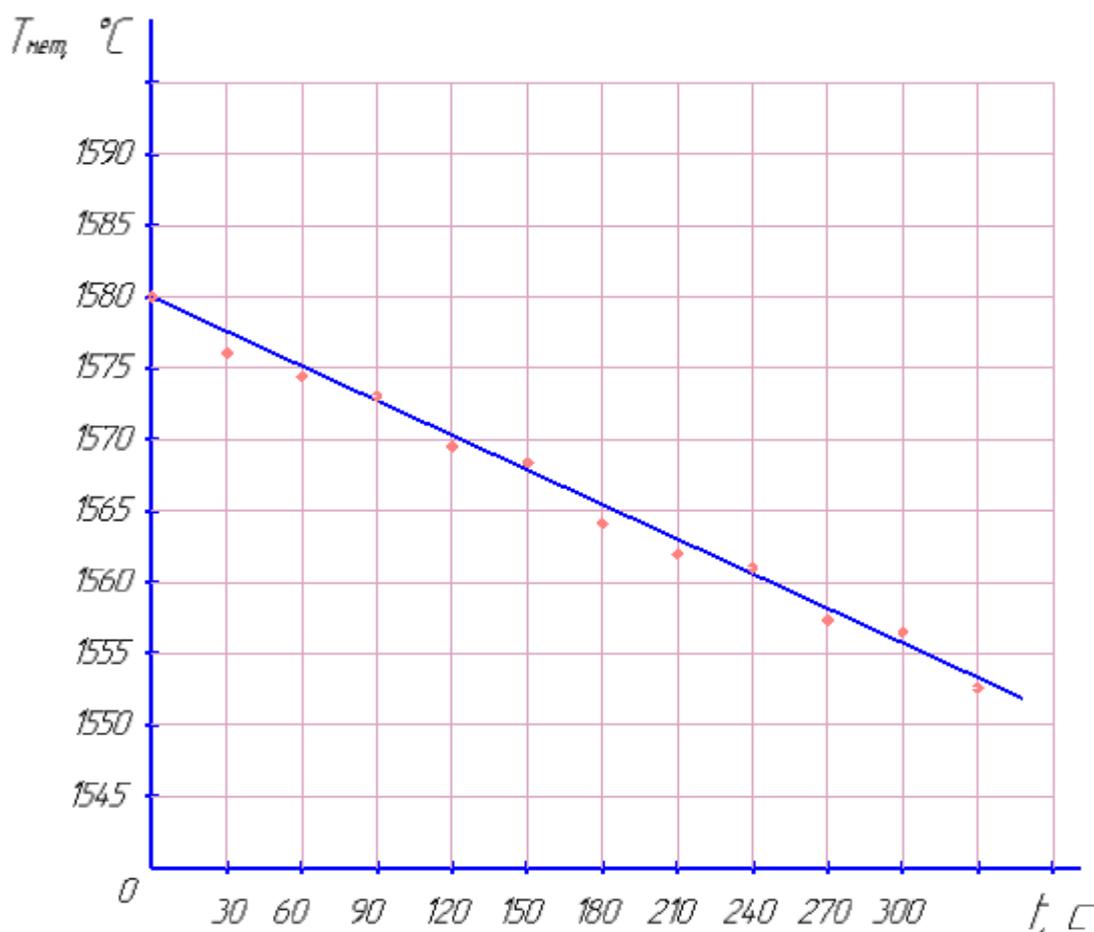


Рисунок 4.5 – Изменение температуры металла в ковше в зависимости от времени продувки аргоном

Стоит отметить, что хорошо перемешанный аргоном и усредненный по химическому составу и температуре металл имеет более высокую жидкотекучесть, поэтому температура его разливки может быть снижена на 15...20 °С, и при применении продувки составит 1540...1550 °С.

После разливки металла и кантовки шлака производят проверку работоспособности донной фурмы. Через донную фурму подают природный газ под давлением 0,055 МПа и по характеру истечения газа и форме факела пламени судят о газопроницаемости фурмы. Если истечение газа свободное и форма факела симметричная, фурма готова к дальнейшей эксплуатации. Если газ через донную фурму не проходит или факел пламени сужен и направлен в какую-либо сторону, необходимо очистить поверхность фурмы. Для этого, не прекращая подачи природного газа нужно производить «мягкий» обдув фурменной зоны кислородом до тех пор, пока не восстановится свободное истечение газа (симметричная форма пламени).

При подготовке кислородопровода, газопровода для восстановления работоспособности донной продувочной фурмы необходимо внешним осмотром убедиться, что баллоны кислорода подсоединены к кислородной разрядной рампе. Редуктор установлен на рампе, регулировочный винт редуктора выкручен до ослабления пружины, манометры входной и выходной показывают «0». Выходной штуцер редуктора подсоединен к кислородному коллектору. На кислородном коллекторе манометр показывает «0». Вентиль №1к (Ду 15) закрыт. Резинотканевый рукав, идущий к направляющей трубе, не имеет механических повреждений (прожогов, порезов), пережатий. Также внешним осмотром убедиться в исправности газопровода. Манометр на коллекторе должен показывать «0». Вентиль №1г - закрыт. Кран на спуске от цехового коллектора – закрыт. Резинотканевый рукав без механических и термических повреждений, быстросъемное соединение механически не повреждено и чистое.

После разливки металла и кантовки шлака ковш устанавливают на стенд и подсоединяют резинотканевый рукав посредством быстросъемного соединения. Для восстановления работоспособности донной фурмы необходимо открыть кран на подаче газа на спуске от цехового коллектора, по манометру убедиться в давлении газа (0,0055 МПа). Открыть вентиль № 1г и убедиться в загорании газа в ковше. (Остаточная температура в ковше после разливки не должна быть ниже 660 °С). По характеру истечения газа и форме факела пламени

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

судят о газопроницаемости фурмы. Если истечение газа свободное и форма факела симметричная, фурма готова к дальнейшей эксплуатации. Если газ через донную фурму не проходит или факел пламени сужен и направлен в какую-либо сторону, необходимо очистить поверхность фурмы.

Для очистки поверхности фурмы необходимо:

1. открыть балонный вентиль кислорода;
2. вращением регулировочного винта редуктора установить в коллекторе кислородопровода давление кислорода 0,13 МПа;

3. открыть вентиль №1к подачи кислорода к направляющей трубе, давление кислорода установить 0,05 МПа и производить обдув фурменной зоны кислородом до тех пор, пока не восстановится свободное истечение газа.

Остановку кислорода производить в обратной последовательности:

1. закрыть кран №1г;
2. отсоединить быстроразъёмное соединение;
3. закрыть кран на спуске подачи природного газа в коллектор.

Аварийная остановка подачи газа производится при утечке природного газа из коллектора и резиноканевого рукава. Для остановки природного газа необходимо закрыть кран подачи на опуске цехового газопровода. При аварийных ситуациях на аргонопроводе, кислородопроводе необходимо перекрыть вентили на баллонах подачи кислорода и аргона идущие к разрядным рампам.

Основные характеристики процесса продувки металла аргоном в раздаточном ковше:

1. давление аргона 0,2...0,6 МПа;
2. продолжительность продувки 5 мин;
3. расход аргона 0,3 м<sup>3</sup> за 5 мин. продувки;
4. масса металла в ковше – 6 т;
5. годовой объем обработки металла – 1800 т;

В связи с тем, что поверхность металла при продувке аргоном не оголяется, выделений пыли при внепечной обработке не наблюдается. Выделение аргона 1,48...2,37 г/с или в среднем 160 кг/год.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		86

При проверке работоспособности фурмы с помощью природного газа давление составляет 0,055 МПа; продолжительность подачи газа – 3 мин; расход природного газа 3,0 м<sup>3</sup>/ч или 0,15 м<sup>3</sup>/ковш (0,111 кг/ковш; годовой расход природного газа – 46 м<sup>3</sup> или 34 кг, секундный – 0,00083 м<sup>3</sup> или 0,617 грамм.

При сгорании природного газа в процессе проверки проницаемости фурмы выделяется газов:

1. на один ковш – углекислый газ 305 г, пары воды 125 г, оксиды азота 68 мг;
2. в секунду – углекислый газ 1,697 г, пары воды 0,694 г, оксиды азота 0,375 мг;
3. в год – углекислый газ 127 кг, пары воды 39 кг, оксиды азота 21 г.

В результате обдува кислородом околофурменной зоны выделится 0,5 кг пыли следующего химического состава: FeO 60 %; CaO 20 %; SiO<sub>2</sub> 10 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10 %. В ковше осаждается 70 % пыли, 30 % попадает в пространство цеха. В цех попадает 0,5 г/с или 5,4 кг/год;

Из перечисленных выше выделений аргон и пары воды не относятся к вредным выделениям. При продувке и проверке работоспособности одного ковша выделяется:

1. углекислого газа - 305 г;
2. оксидов азота - 68 мг;
3. пыли - 150 г.

Таким образом, количество выделяющихся вредных веществ ничтожно мало и ими можно пренебречь. После каждой плавки осуществляется замена пенокерамической жароупорной пробки в донной фурме.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

#### 4.5 Опасные производственные факторы на участке продувки металла аргоном

К числу опасных производственных, технологических процессов, происходящих на участках продувки металла аргоном относятся процессы с использованием природного газа и кислорода, процесс внепечной обработки металлов в оборудованном ковше. К опасным явлениям при авариях, оказывающих разрушительное действие на персонал, оборудование и сооружения, относятся:

1. образование облака газозвушной смеси в ограниченном пространстве, его быстрое взрывное превращение, с возникновением пожара;
2. взрывы трубопроводов, сосудов с перегретой жидкостью, емкостей под давлением с образованием осколков.

Перечисленным явлениям наиболее характерны следующие поражающие факторы:

1. воздушная ударная волна (ВУВ), образующаяся в результате разного рода взрывов, в том числе при взрывных превращениях газозвушных смесей;
2. тепловое излучение пожаров;
3. поля поражения, создаваемые летящими обломками технологического оборудования и т.д.;
4. действие токсичных веществ, возникающих в ходе аварии.

В качестве зон воздействия, перечисленных поражающих факторов, принимаются:

1. для воздушной ударной волны – круг с центром в месте воспламенения облака газозвушной смеси с учётом дрейфа от места утечки, радиус которого (круга) определяется типом и массой вещества, типом взрывного превращения;
2. для теплового излучения – зоной воздействия теплового излучения при пожаре является либо прямоугольник, либо круг, размер которых определяется массой горящих веществ, характеристиками помещений, в которых развивается пожар;

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. для осколочных полей – максимальное расстояние разлёта осколков на открытой местности, зависящее от конкретного вида взрывного превращения и разрушенного сосуда (технологической установки).

Отношение объёма газа, истекающего при аварии из газопровода при проверке продуваемости донной фурмы, к объёму здания составляет 0,02 % (величина незначительная). Утечка природного газа на участках продувки металла аргоном, с образованием газозвушной смеси, не достигает концентрации нижнего предела воспламенения при своевременном аварийном отключении системы.

К опасным явлениям, возникающим при авариях на участках продувки металла аргоном, оказывающим разрушительное действие на персонал, оборудование и сооружение, в первую очередь, относятся выбросы жидкого металла. Перечень опасных производственных операций, связанных с выбросом жидкого металла на участке приведен в таблице 4.1 .

Таблица 4.1 – Перечень опасных производственных операций, связанных с выбросом жидкого металла

Наим. аварии	Условия возникнов. аварии	Развитие аварии (возможное)	Способы и средства предотвращения аварии	Меры по локализации аварии
Аварийный выход жидкой стали из раздат. ковша	Разрушен. футеровки и кожуха сталеразливочного ковша	Попадани металла на пол цеха. Воздействия за пределами цеха нет	Постоянный контроль обслуживающего персонала за состоянием футеровки и кожуха сталеразливочных ковшей, своевременный их ремонт	Прекращение обработки металла в сталеразливочном ковше, слив металла в аварийную ёмкость для приёма металла

Дополнительная пожарная нагрузка на предложенном участке продувки металла аргоном отсутствует. Участки продувки металла аргоном и проверки работоспособности фурмы размещаются в зоне озвучивания существующей системы оповещения и управления эвакуацией. В технологическом процессе продувки металла применяется аргон, который не относится к взрывопожарноопасным газам. Для подачи природного газа используется существующий в цехе газопровод. Подвод кислорода к участку проверки работоспособности фурмы осуществляется от цехового кислородопровода.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Общая характеристика литейного цеха

Спроектированный цех по конфигурации представляет собой одноэтажное здание каркасного типа общей площадью 7560 м<sup>2</sup>. Основную несущую нагрузку несет каркас из железобетонных колонн, установленных на фундаменте и связанных балками и фермами. Каркасы. Все ворота, служащие для въезда и выезда транспортных средств оборудованы системой воздушно-тепловой завесы.

Конструктивно здание литейного цеха спроектировано в соответствии с требованиями СНиП II-90-81 – «Производственные здания промышленных предприятий; нормы проектирования».

Здание цеха имеет прямоугольную форму и состоит из 4 пролетов: пролет складирования, пролет основного производственного процесса, пролет термо- и механообработки отливок и склада готовой продукции, а также административно-бытовой пролет. [11]

Полы цеха выполнены из материалов с высокой прочностью, износостойкостью, стойкостью к воздействию агрессивных средств, раскаленных деталей и т.д. Материалом полов являются бетонные плиты с железобетонным покрытием.

Отопление и вентиляция помещений цеха выполнены в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями СНиП 2.04.05-91 (2000) «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Отопительная система выполнена местными нагревательными приборами и регистрами из гладких водогазопроводных труб. Вентиляция, спроектированная в цехе, обеспечивает многократный обмен воздуха. Она состоит из системы местной вентиляции, которая предотвращает выброс вредных выделений в атмосферу цеха, устройств воздушных душей и тепловых завес на рабочих местах. Воздушные тепловые завесы, также расположены на всех воротах, их запуск связан с механизмом открывания ворот.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

В соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91 (2000) «Отопление, вентиляция и кондиционирование» объем подаваемого наружного воздуха составляет не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного работающего. В холодное время года при средней дневной температуре менее 10 °С приточная вентиляция работает в сочетании с калориферными обогревательными установками. [12]

Спроектированный цех относится к первому классу санитарной классификации по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-2003 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и других объектов. Минздрав России». Исходя из этого, территория цеха отделена от жилого массива санитарно-защитной зоной расстоянием 1000 м. В соответствии со СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» литейное производство относится к категории взрывопожароопасных. Категория производства – Б. По СНиП 21-01-97 огнестойкость здания – 2 степени. На территории завода литейный цех располагается в зоне группы горячих цехов и энергетических сооружений на возвышенном месте.

## 5.2 Анализ производственных, экологических и техногенных опасностей

В соответствии со стандартом ГОСТ 12.0.003-80 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» во время технологического процесса производства литья возникают опасные и вредные производственные факторы, основными из которых являются: пыль; выделение паров и газов; повышенная температура; повышенный уровень шума, вибрации, электромагнитных излучений; наличие движущихся машин и механизмов. К вредным факторам производства относят те факторы, которые приводят к различным заболеваниям работников, к опасным производственным факторам те, которые могут привести к травматизму и даже смерти.

Основным вредным фактором в спроектированном цехе является пыль, которая долгое время находится во взвешенном состоянии. Большие выделения пыли наблюдаются при выбивки отливок, в процессе приготовления

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

формовочных и стержневых смесей. Также вредным фактором производства являются газы и пары, которые загрязняют воздух рабочей зоны литейного цеха, а именно к ним относятся ацетон, ацетилен, бензол, окись азота, двуокись серы, углекислый газ, фенол, окись углерода, формальдегид, амин.

Повышенная температура наблюдается в связи с высоким уровнем выделения теплоты на участках плавки металла, заливки форм, выбивки отливок, термической обработки, а также при выполнении ряда вспомогательных операций (таких как сушка ковшей, восстановление работоспособности донной фурмы раздаточного ковша).

В спроектированном цехе источником общей вибрации являются выбивные решетки инерционного типа. Параметры общей и локальной вибрации регламентируются и не превышают требований ГН 2.2.4/2.1.8.566-96. [13]

Высокая шумовая нагрузка в цехе характерна для участков выбивки, обрубки, зачистки отливок. Параметры шума в спроектированном цехе не превышают общих требований безопасности ГН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Повышенные уровни электромагнитного воздействия наблюдаются на участке плавки металла в электропечах, а также на участке проведение термообработки. Уровень электромагнитного воздействия на работников этих участков не превышает требований ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ. Электромагнитные излучения. Общие требования».

Основными источниками опасного воздействия электрического тока являются электропечи, машины и механизмы с электроприводом (краны, конвейеры, передаточные тележки). Литейный цех оснащен транспортными и грузоподъемными механизмами, машинами для приготовления формовочных и стержневых смесей, устройствами для выбивки отливок. Выполнение любой из операций на указанном выше оборудовании связано с опасностью травматизма персонала цеха из-за наличия опасных зон в машинах и механизмах. Для предупреждения возникновения нештатных ситуаций работа на этих машинах выполняется строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации и разработанными в цехе инструкциями по охране труда. [11]

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		93

Результаты анализа вредных и опасных факторов в спроектированном цехе представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Анализ опасных и вредных факторов производства

Отделение	Наименование операции (оборудование)	Применяемые вещества, материалы	Опасные производственные факторы
1	2	3	4
Плавильное	Плавка, разливка, рафинирование, (эл. печи, ковши, мостовой кран)	Шихтовые материалы, модификаторы, электроды, жидкая сталь	Повышенная температура поверхности оборудования эл. ток, шум
Формовочно-заливочно-выбивное	Изготовление форм, стержней охлаждение, выбивка, (формовочная машина, выбивная решетка, кран, смесители)	Формовочная, стержневая смеси, жидкая сталь	Повышенная температура материалов, эл. ток, движущиеся механизмы
Шихтовое и склады	Хранение, прием, разгрузка и подготовка материалов (кран, установки для сушки, просева, вагоны)	Лом, возврат, ферросплавы, модификаторы, песок, глина и др. форм. материалы	Движущиеся механизмы, эл. ток
Термообрубное	Очистка, обрубка, механообработка (дробеметный барабан, термопечь, станки)	Готовые отливки, дробь, шлифовальные круги и др.	Повышенная температура материалов, движущиеся механизмы, эл. ток

Окончание таблицы 5.1

Отделение	Вредные производственные факторы	Экологические факторы	Возможные аварии, ЧС
1	5	6	7
Плавильное	Загазованность, шум, интенсивный тепловой поток, Шум-84 дБ, Пыль=9,9 мг/м <sup>3</sup>	Выделение газов, избыточное выделение теплоты, пыль	Выплески металла при выпуске из печи, аварии при разливке, травматизм
Формовочно-заливочно-выбивное	Загазованность рабочей зоны, шум, интенсивный тепловой поток, вибрация	Пыль, избыточное выделение теплоты, газов	Аварии при работе с оснасткой, травматизм, выплески металла при заливке форм
Шихтовое и склады	Запыленность рабочей зоны, ПДК SiO <sub>2</sub> – 2...4 мг/м <sup>3</sup> при содержании в пыли до 50 %	Пыль	Аварии при работе на оборудовании, перемещении грузов, материалов, травматизм
Термообрубное	Загазованность, тепловой поток, пыль, шум	Пыль, газ, выделение тепла	Аварии при работе на оборудовании, перемещении грузов, травматизм

Основными газами, загрязняющими воздух литейного цеха являются: оксид углерода (4 класс опасности), оксид азота (4 класс опасности), диоксид серы (3 класс опасности), ацетон (4 класс опасности), углекислый газ (4 класс опасности).

Горючие пары и газы являются источниками пожаровзрывоопасности. На плавильном, формовочном, стержневом, термообрубном участках установлены сигнализаторы взрывоопасных концентраций и предусмотрена аварийная

вытяжная вентиляция, так как на этих участках возможны выделения в атмосферу цеха горючих веществ. Предельно допустимая концентрация вредных и опасных газов в атмосфере цеха приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – ПДК вредных веществ в атмосфере литейного цеха

Наименование веществ	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
	максимально разовые в рабочей зоне
Ацетон	200
Окислы азота	5
Кремнийсодержащие пыли (SiO <sub>2</sub> >70 %)	1
Известняк	6
Окись углерода	20
Магнезит	10
Оксиды марганца	0,3

С целью создания обеспечения нормальной жизнедеятельности человека в условиях производства в цехе создан оптимальный микроклимат, который согласно требований СанПиН 2.2.4.548-96 ГОСТ 12.1.005-88 определяется воздействием на организм человека температуры, влажности и скорости движения воздуха. Санитарно-техническими мероприятиями поддержки оптимального микроклимата являются: теплоизоляция рабочих поверхностей и экранирование рабочих мест, вентиляция. [12]

Шум как неблагоприятный фактор производства также оказывает вредное воздействие на работников цеха. Как уже было сказано ранее, высокий уровень шума возникает на участках выбивки, обрубки, зачистки отливок, а также на плавильном участке цеха. Уровень шума в спроектированном цехе регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.562-01. Общие требования безопасности при использовании машин и оборудования, работа которых сопровождается шумом, допустимые уровни звукового давления на рабочих местах устанавливаются в

соответствии с ГОСТ12.1.003-03 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». На термообрубном участке цеха, имеющем эквивалентный уровень шума более 85 дБ, предусмотрена комната отдыха с уровнем шума не более 40 дБ. Для дополнительного снижения механического шума во всем цехе применяются специальные упругие вставки между агрегатами и их частями, создающими шум, периодически, по решению механика цеха, во время планового осмотра технологического оборудования проводится принудительная смазка трущихся элементов для снижения уровня шума на интервал до 10 дБ. Для рабочих дополнительно предусмотрено применение индивидуальных средств защиты.

Допустимые в цехе параметры общей и локальной вибрации регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.566-01. Вибрационная безопасность персонала в цехе достигается путем снижения общей и локальной вибрации до пределов регламентируемых ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». Нормы воздействия вибрации на работников цеха приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормы воздействия вибрации на сотрудников цеха

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ в активных полосах со средней частотой, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Транспортно-технологическая	117	108	102	101	101	101	–	–	–	–
Технологическая	108	99	93	92	92	92	–	–	–	–
В служебном помещении	91	82	76	75	75	75	–	–	–	–
Локальная вибрация	–	–	115	109	109	109	109	109	109	109

Для снижения вредного воздействия вибрации в цехе предусмотрена увеличенная масса фундамента основного вибрирующего оборудования – выбивной решетки, дополнительно созданы акустические разрывы вокруг этого фундамента, также под станины выбивных решеток укладываются виброизоляционные подложки.

Важной характеристикой, способной негативно влиять на состояние здоровья персонала цеха является уровень освещения производственных помещений. В спроектированном цехе уровень естественного и искусственного освещения производственных и санитарно-бытовых помещений соответствует нормам СанПин 2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению». Помимо этого, в цехе предусмотрено аварийное освещение с целью безопасного завершения работ в нештатной ситуации. Значения освещенности на основных участках спроектированного литейного цеха представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Значения освещенности участков литейного цеха

Технологическая операция	Рабочая поверхность	Разряд зрительной деятельности	Общее освещение, лк	КЕО, %
Разгрузка материалов	Площадка, закром	4 <sub>а</sub>	160	2,5
Плавление металла	Печь	4 <sub>г</sub>	160	2,5
Загрузка шихты	Загрузочная площадка	8 <sub>б</sub>	210	0,8
Изготовление форм, стержней, заливка и выбивка	0,8 м от пола	4 <sub>а</sub>	310	2,0

### 5.3 Безопасность труда в литейном цехе

Анализ опасных и вредных производственных факторов показывает, что в спроектированном цехе необходимы меры повсеместной техники безопасности. Безопасность труда в цехе достигается путем оснащения технологического оборудования пыле-газоулавливающими и очистными системами, применением в цехе современных экологически безвредных технологических процессов.

#### 5.3.1 Безопасность веществ и материалов

С целью поддержания атмосферы цеха в пригодном для работы состоянии предусмотрена организация естественной и принудительной вентиляции. Естественную вентиляцию цеха дополняют приточная и вытяжная системы вентиляции. Система приточной цеховой вентиляции состоит из: воздухоприемного устройства, рукавных пористых фильтров, системы подогрева и охлаждения приточного воздуха, нагнетателей. [12]

Для удаления пыли и выделяющихся газов от локальных источников организована вытяжная вентиляция, состоящая из местных вытяжных устройств, сведенных в единый воздухоотвод, также в системе имеется нагнетатель и труба для выхода загрязненного воздуха. Для предотвращения загрязнения окружающей среды вытяжной воздух подвергается очистке. На первом этапе очистки воздух проходит через сухой инерционный пылеуловитель – циклон ЦН-20, который очищает отходящие газы от пыли, с частицами размером до 10 мкм, степень очистки составляет 85 %. На втором этапе очистки воздух пропускается через рукавный фильтр ФРУ-25, в котором улавливаются частицы размером от 1 мкм с эффективностью очистки 99,6 %.

Приточная местная вентиляция также оборудуется в виде воздушных завес на всех воротах и дверях литейного цеха, с целью предотвращения попадания холодного воздуха в пространство цеха. В качестве средств дополнительной индивидуальной защиты персоналу цеха выдаются респираторы типа 3М.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

### 5.3.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

Безопасность производственного процесса в первую очередь обеспечивается выполнением работ на установленном в цехе оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации, а также в соответствии с инструкциями по охране труда, разрабатываемыми в цехе.

В целях обеспечения безопасности производства шихтовые материалы хранятся в закромах, формовочные материалы в бункерах. Участки хранения металлической шихты для безопасного обслуживания имеют площадку шириной 2 м, огражденную по контуру перилами. Хранение сыпучих материалов осуществляется в ларях, в верхней части которых обеспечен подвод местной вытяжной вентиляции. На всех участках цеха устанавливаются средства пожаротушения (ящик с песком, противопожарный щит, огнетушители) и аварийная сигнализация.

Основным плавильным агрегатом являются электродуговые печи постоянного тока в количестве 2 шт. типа ДППТУ-6. Работы на печах производятся с соблюдением правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, и в соответствии с инструкцией прилагаемой поставщиком. [11]

В целом, в литейном цехе осуществлен целый ряд мероприятий, направленных на обеспечение безопасности производственных процессов: печи оборудованы эффективными штатными устройствами для удаления отходящих дымовых газов и очистки их от пыли; с целью предотвращения взрывоопасных ситуаций, все литейное оборудование, контактирующее с жидким металлом просушивается на стенда; для оповещения работников о предстоящем наклоне печи для скачивания шлака или выпуска металла предусмотрена световая и звуковая сигнализация, сигнал подается за минуту до начала наклона в автоматическом режиме; печь оснащена выключателями аварийного напряжения; все металлоконструкции электропечей заземлены; работникам цеха выдаются не реже чем раз в год средства индивидуальной защиты в виде специальных рабочих костюмов, ботинок, касок, респираторов, очков, перчаток.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

## 5.4 Электробезопасность

Электробезопасность спроектированного цеха обеспечивается использованием сертифицированных электроприборов и установок, оснащенных плавкими предохранителями, рубильники которых находятся на заземленных контурах; организационными и техническими мероприятиями. Электробезопасность цеха обеспечена в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты». С целью достижения высокого уровня электробезопасности в цехе предусмотрена установка защитного заземления, зануления, защитного отключения, также установлены предупреждающие знаки и плакаты.

Для индивидуальной защиты электриков и механиков спроектированного цеха предусмотрены специальные инструменты, резиновые перчатки, сапоги, резиновые коврики.

## 5.5 Пожаровзрывобезопасность

Проект цеха разработан в соответствии с требованиями федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 года. Спроектированный цех относится по пожарной опасности к категории «Б». Условия пожарной безопасности также регламентируются требованиями ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожаробезопасность. Взрывобезопасность. Общие требования».

Для достижения пожаровзрывобезопасности в цехе предусмотрены: установка огнетушителей, ящиков с песком, пожарных щитов на всех участках литейного цеха. Также установлены средства связи с пожарной охраной завода, звуковая и световая сигнализация, назначены ответственные за пожарную безопасность в цехе. Курение в цехе запрещено. Место для курения оборудуется за территорией цеха. В таблице 5.5 приведены рекомендации по применению средств пожаротушения в литейном цехе.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

Таблица 5.5 – Рекомендации по применению средств пожаротушения

Средство пожаротушения	Материалы и область тушения	Отделения, участки
1	2	3
1. Распыленная вода	Горючие жидкости с температурой вспышки более 45° (смазочные масла, олифы и др.)	Формовочное, стержневое
2. Углекислый газ	Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, твердые сгораемые материалы	Сушки форм и стержней
3. Химическая пена	Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, твердые сгораемые материалы (ацетон, битумы, керосин, лаки и др.)	Формовочное, стержневое
4. Порошковые сухие огнетушители, сухой песок, флюсы	Твердые горючие материалы, в том числе металлы	Плавильное
5. Войлочные кошмы и покрывала	Небольшие очаги пожаров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей	Стержневое

### 5.6 Охрана окружающей среды

Разработанный цех в процессе производства оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду. В ходе производственных процессов отрицательное воздействие оказывает пыль и газы, которые перед выбросом в атмосферу необходимо очищать, происходит загрязнение сточных вод, выделяются твердые отходы в виде отработанной формовочной и стержневой

смеси, шлака. Главной задачей охраны окружающей среды является предотвращение попадания вредных веществ за пределы литейного цеха.

#### 5.6.1 Очистка выбросов в атмосферу

Основными решениями по очистке выбросов в атмосферу являются: вытяжка токсичных веществ и газов за счет вытяжной вентиляции, локализация токсичных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специальных аппаратах и его возврат в производственное или бытовое помещение, после очистки газов в рукавных фильтрах (ФРУ-25) и циклонах (ЦН-20) происходит выпуск очищенных газов в атмосферу. В качестве специальных аппаратов используются аспирационные системы (АС-1).

#### 5.6.2 Очистка производственных сточных вод

К основным источникам загрязнения сточных вод спроектированного цеха относятся: пыль, частицы песка, частицы шлака, окалина и др. Очистка сточных вод производится механическим путем в системе мембранной очистки, в основе которой находится песчаный фильтр непрерывного действия CSF-250, гидравлическая мощность составляет 50 м<sup>3</sup>/ч.

#### 5.6.3 Обезвреживание и утилизация твердых отходов

Твердые отходы спроектированного литейного цеха составляют: отработанные смеси, просыпи, шлаки, шламы отстойников пылеочистой аппаратуры, абразивная пыль, отработанные огнеупоры. Приведенные отходы производства относятся к четвертому классу опасности. При условии соответствующего складирования и рекультивации отходы не наносят серьезного ущерба окружающей среде.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

Меры, применяемые в литейном цехе для снижения отрицательного влияния на окружающую среду:

- 1) регенерация отработанных формовочных смесей;
- 2) создание замкнутых циклов водоснабжения с предварительной очисткой и многократным использованием воды в технологическом процессе.

Отходы спроектированного цеха по химическому составу подразделяются на два класса опасности:

1) инертные; это смеси, содержащие в качестве связующего глину, бентонит, кварцевый песок (эти отходы используются для планировочных работ, устройства насыпей;

2) отходы содержащие биохимически окисляемые вещества, это смеси после заливки, связующим в которых являются синтетические смолы (отходы стержневой смеси).

Так как организация своего полигона для утилизации отходов цеха не предусмотрена, то для утилизации они направляются (формовочная смесь 100 % и шлаки 100 %) на ближлежащие цементные, кирпичные, бетонные и асфальтные заводы с целью дальнейшего использования, этим достигается практически безотходное производство.

					<b>22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был спроектирован цех стального литья с годовым объемом выпуска 15000 т отливок. При разработке цеха были выбраны современные высокоавтоматизированные технологии и оборудование. Так, для изготовления литейных форм был выбран Seiatsu процесс, обеспечивающий высокую производительность форм на автоматической линии фирмы HWS. Стержни в спроектированном цехе получают на автомате LE16 фирмы Laempe. Данное оборудование обеспечивает высокую производительность, одновременно гарантируя высокие точностные параметры форм и стержней, а также высокую автоматизацию технологического процесса. Для приготовления литейных расплавов выбраны дуговые электропечи постоянного тока ДППТУ-6, обеспечивающие более эффективное производство стали по сравнению с наиболее распространенными печами переменного тока. Для дополнительного улучшения качества выплавляемой стали в специальной части проекта был разработан участок продувки металла аргоном, благодаря которому снижаются потери по браку и как следствие повышается эффективность литейного производства.

В технологической части разработан процесс изготовления отливки «Диск», материалом которой является сталь 35Л по ГОСТ 977-88. По результатам анализа технологичности сделан вывод о том, что оптимальным для производства данной отливки является способ литья в разовые песчано-глинистые формы. Определены размеры литниково-питающей системы, выбрана конструкция стержня, для надежной его фиксации назначены знаковые части с уклонами и зазорами. Также для подтверждения оптимальности разработанной технологии была построена трехмерная модель отливки с ЛПС в программе SolidWorks, и проведено моделирование литейных процессов в программах SolidCast и LVMFlow.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, представлены мероприятия для создания благоприятных условий труда работников цеха.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дибров И.А. Состояние и перспективы развития литейного производства в России. Труды 13-го съезда литейщиков России / И.А. Дибров. – Екатеринбург: 2017 – 325 с.
2. Проектирование и реконструкция литейных цехов: учебное пособие / Б.А. Кулаков, Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина и др. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 142 с.
3. Логинов, И.З. Проектирование литейных цехов: учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / И.З. Логинов. – Минск: Вышэйша школа, 1975. – 320 с.
4. Технологические процессы литья: учебное пособие / В.К. Дубровин, А.В. Карпинский, О.М. Заславская – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 194 с.
5. Зайгеров, И. Б. Оборудование литейных цехов: учебное пособие для вузов по спец. «Машины и технология литейного производства» / И.Б. Зайгеров. – Минск: Вышэйша школа, 1980. – 368 с.
6. Технология литейного производства. Формовочные материалы: учебное пособие / В.К. Дубровин, И.Н. Ермаков, А.В. Карпинский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2005. – 139 с.
7. Миляев А.Ф. Проектирование новых и реконструкция действующих литейных цехов: учебное пособие / А.Ф. Миляев. – Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 1999. – 410 с.
8. Малиновский, В.С. Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения для литейного и металлургического производств / В.С. Малиновский, В.Д. Малиновский, И.Б. Власова // Журн. литейное производство. – 2005.– №7.– С.15 – 22.
9. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали / Кудрин В.А. – М.: Металлургия, 1992. - 337 с.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

10. Технология литейного производства: Формовочные и стержневые смеси: учебное пособие для вузов / под ред. С.С. Жуковского, А.Н. Болдина, А.И. Яковлева, А.Н. Поддубного, В.Л. Крохоткина. – Брянск изд. БГТУ, 2002, – 470 с.

11. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 606 с.

12. Экология литейного производства / под ред. С.С. Жуковского, А.Н. Болдина, А.И. Яковлева, А.Н. Поддубного, В.Л. Крохоткина. – Брянск: Издательство БГТУ, 2001. – 315с.

13. Правила по охране труда в литейном производстве ПОТ Р М – 002 – 97. – М.: Министерство труда и социального развития Российской Федерации, 1997. – 216 с.

					22.04.02.2019.136.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107