

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.

Литейные технологии производства чугуновой отливки
"Крышка подшипника задняя"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-22.03.02.2019.437.00.00 ПЗ ВКР

Нормоконтролер
доцент, к.т.н.
А.В. Карпинский
«__»_____2019г.

Руководитель проекта
доцент, к.т.н.
О.М. Заславская
«__»_____2019г.

Автор проекта
студент группы
П-437
В.М. Шелков
«__»_____2019г.

АННОТАЦИЯ

Шелков В. М. Литейные технологии производства чугунной отливки «Крышка подшипника задняя». – Челябинск: 2019, П-437, 82 с., 18 ил., библиогр. список – 18 наим., 3 листа чертежей ф. А1, 2 плаката ф. А1.

В дипломном проекте разработан технологический процесс изготовления отливки «Крышка подшипника задняя» из чугуна марки СЧ30 ГОСТ 1412-85 в соответствии с техническими требованиями на литую деталь. После анализа технологичности отливки предложено изготовление отливки «Крышка подшипника задняя» в разовую песчано-глинистую форму по Сейатцу-процессу с использованием холоднотвердеющей смеси для стержней. Разработаны и рассчитаны элементы литейной формы, выбран состав формовочных и стержневых смесей, определен состав шихты и технология плавки чугуна. Особое внимание уделено расчету литниково-питающей системы.

В проектной части рассчитан и спроектирован участок чугунного литья с годовой производительностью 18000 тонн.

Специальная часть выпускной работы посвящена изучению модифицирования чугуна. В последней части рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

					<i>22.03.02.2019.063.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шелков В.М.</i>			<i>Литейные технологии производства чугунной отливки "Крышка подшипника задняя"</i>	<i>Лит.</i>	<i>Листов</i>	<i>Лист</i>
<i>Провер.</i>		<i>Заславская О.М.</i>				<i>Д</i>	<i>82</i>	<i>3</i>
<i>Т.конт</i>						<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Н.конт.</i>		<i>Карпинский А.В.</i>				<i>Кафедра ЛП</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Кулаков Б.А.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ.....	7
2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ	
2.1 Анализ технологичности отливки.....	12
2.2 Выбор способа изготовления отливки.....	14
2.3 Выбор положения отливки в форме.....	14
2.4 Определение поверхности разъема формы.....	15
2.5 Определение припусков на механическую обработку.....	15
2.6 Определение формовочных уклонов.....	16
2.7 Определение литейной усадки.....	16
2.8 Определение количества и конструкции стержней.....	17
2.9 Разработка конструкции и расчет литниковой системы.....	19
2.10 Определение габаритов опок.....	23
2.11 Выбор модельного комплекта.....	24
2.12 Изготовления форм	25
2.13 Изготовления стержней.....	31
2.14 Выбор состава противопригарных красок.....	34
2.15 Разработка технологии сборки форм.....	34
2.16 Разработка технологии обрубки, очистки и окраски отливок.....	37
2.17 Разработка системы контроля технологии качества отливок.....	39
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВИЛЬНОГО И ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКОВ	
3.1 Производственная программа.....	41
3.2 Структура литейного цеха.....	41
3.3 Режим работы и фонды времени.....	42
3.4 Плавильное отделение.....	43
3.5 Расчет шихты и составление ведомости расхода шихтовых материалов..	44
3.6 Формовочное отделение.....	52
4 СПОСОБЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА	
4.1 Модифицирование чугуна.....	56
4.2 Методы сфероидизирующей обработки чугуна.....	57
4.3 Типы модификаторов для сфероидизирующей обработки чугуна.....	67
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
5.1 Характеристика производства.....	72
5.2 Вентиляция	72
5.3 Производственный микроклимат.....	74
5.4 Производственное освещение.....	75
5.5 Производственный шум.....	75

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

4

5.6 Производственная вибрация.....	76
5.7 Электромагнитное излучение.....	76
5.8 Электробезопасность.....	77
5.9 Пожарная безопасность.....	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Теория и практика технологии литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами.

Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках и других машинах ответственного назначения. Они используются в изготовлении строительных конструкций, металлургических агрегатов, морских судов, деталей бытового оборудования, художественных и ювелирных изделий.

Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшения условий труда.

Литье является наиболее распространенным методом формообразования.

Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

Целью данной работы является разработка технологии изготовления отливки «Крышка подшипника задняя» в соответствии с современными требованиями к качеству литья.

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

1 ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ

Литейное производство является одной из важнейших отраслей отечественного машиностроения. В настоящее время в России насчитывается около 1650 литейных предприятий, которые, по экспертной оценке, произвели в 2006 году 7,68 млн. тонн отливок, в том числе из чугуна – 5,28 млн. тонн, из стали – 1,3 млн. тонн, из цветных сплавов – 1,1, млн. тонн [1].

Объёмы производства литых заготовок находятся в пропорциональной зависимости от объёмов производства машиностроительной продукции, так как доля литых деталей в автомобилях, тракторах, комбайнах, танках, самолётах и других машинах составляет 40...50 %, а в металлорежущих станках и кузнечнопрессовом оборудовании доходит до 80 % массы и до 25 % стоимости изделия, но не смотря на повсеместное применение литых изделий, на сегодняшний день практически все литейные предприятия требуют обширной модернизации.

Имея теоретическое преимущество в 36 % от цены конечной продукции благодаря низкой стоимости сырья, энергии и труда, российская литейная промышленность съедает это преимущество за счет расточительного использования ресурсов. Как следствие, российской литейной отрасли сложно конкурировать на внешних рынках за счет соотношения цена-качество: цена приближается к уровню европейских производителей, а качество зачастую не соответствует стандартам.

Только немногие российские предприятия имеют опыт и экспортируют свою продукцию за пределы стран СНГ. В связи с этим российские предприятия до сих пор не испытывали потребности в следовании жестким системам качества. Доля брака на российских литейных предприятиях значительно варьируется и может составлять от доли процента на ведущих производствах до 15...30 % в среднем по отрасли. По сравнению с европейскими предприятиями уровень брака в России (в процентном отношении к выпускаемой продукции) в 2 раза выше. Однако зарубежные требования к качеству значительно превышают российские. Это означает, что если бы российское литье проходило проверку на качество по европейским стандартам, уровень брака был бы в среднем в 4 раза выше.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

В России практически все предприятия имеют низкий уровень автоматизации и механизации, обширно используется ручной метод формовки, изготовление отливок как правило происходит в песчано-глинистые формы, уровень загрязнений на предприятиях далек от стандартов. Это приводит к тому, что по сравнению с зарубежными российские литейные предприятия:

- используют на 14 % больше металла на тонну готовой продукции;
- должны эксплуатировать свои производственные мощности в два раза дольше, эффективно используя при этом всего лишь 50 % существующих производственных мощностей;
- имеют выработку продукции на одного человека в 3,6 раза ниже.

Ряд предприятий в России уже активно внедряют передовые практики по улучшению производства и ресурсоэффективности. Хотя показатели этих предприятий (лучших по индустрии в РФ) приближаются к средним показателям в Европе.

Реализовать стратегические возможности повышения конкурентоспособности и рентабельности можно за счет модернизации старых и создания новых предприятий, используя современные технологии изготовления готовой продукции и контроля ее качества, а также качества технологического процесса.

Известно, что наилучшие показатели универсальности, обеспечивающие высокое качество отливок, имеют автоматические формовочные линии (АФЛ), которые являются «сердцем» литейного цеха.

На сегодняшний день современные АФЛ в большинстве случаев работают по «Сейатцу-процессу» (Seiatsu Process), в котором уплотнение песчано-глинистой смеси осуществляется воздушным потоком (импульсом) с дальнейшим гидравлическим прессованием многоплунжерной головкой.

Ранее существовало мнение, что АФЛ малоэффективны для мелкосерийного производства. Однако сегодня это мнение явно устарело и современные АФЛ выпускают отливки любых серий – одновременно единицы одних, сотни и тысячи других отливок самых различных конфигураций и размеров.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

Так же используются и другие методы, повышающие производительность и улучшающие качество продукции.

К таким новым технологиям относятся:

- литье методом вакуумно-пленочной формовки (ВПФ);
- литье в холоднотвердеющих смесях (ХТС);
- литье по газифицируемым моделям (ЛГМ).

Все эти технологии имеют применение в зарубежных странах, что выводит их в лидеры литейного производства.

Так же серьёзной проблемой литейного производства остаётся экология. При производстве одной тонны отливок из сплавов чёрных металлов выделяется около 50 кг пыли, 250 кг окиси углерода, 1,5...2 кг окиси серы, 1 кг окиси углеводородов. Весьма важной проблемой является утилизация твёрдых отходов литейного производства. Отработанные формовочные и стержневые смеси, относящиеся к 4-й категории опасности, составляют 90 % отходов. Поэтому для каждого предприятия с точки зрения экономической целесообразности и экологической безопасности производства требуется регенерация отработанных смесей в местах их образования. С этой целью необходима срочная реконструкция литейных цехов, которая должна осуществляться на базе новых, экологически чистых технологических процессов и материалов, прогрессивных плавильных агрегатов, смесеприготовительного и формообразующего оборудования, обеспечивающих получение высококачественных отливок, которые будут отвечать европейским и мировым стандартам.

К мероприятиям по модернизации могут быть отнесены:

- на плавильных участках – замена вагранок индукционными печами (при этом объём вредных выбросов сокращается: пыли и углекислого газа – в 13 раз, двуокиси серы – в 30 раз), применение для плавки чугуна и стали дуговых печей постоянного тока с одним электродом сокращает пылевыведение в 2 раза;
- на формовочных и стержневых участках – создание и применение малотоксичных и нетоксичных составов смесей;

- на термообрубных участках – повышение эффективности работы вентиляционных систем и утилизация твёрдых отходов.

Из перечисленных мер следует особо выделить меры по экологической безопасности на стержневых участках, которые используют синтетические смолы в качестве связующих. По экспертным оценкам сегодня эти технологии дают до 70 % загрязнений природной среды от литейных цехов. При нагреве форм и стержней в интервале 400...800 градусов Цельсия наблюдается интенсивное выделение фенола, бензола, толуола, крезола, формальдегида, аммиака и других газов, которые в интервале температур 800...1200 °С приводят к образованию углекислого газа, окиси углерода, углеводородов, двуокиси серы и азота. Особо опасен канцерогенный бензопирен, который вызывает генные мутации и раковые заболевания (он образуется при неполном сгорании топлива). Синтетические смолы соответствуют технологическим требованиям и отвечают критериям модернизации, на современном оборудовании соответствуют экологическим нормативам, которые непосильны большинству литейных цехов. Помимо этого, необходимо применять в цехах современные системы газоочистки и фильтрации.

На сегодняшний день в России уверенно развиваются предприятия, производящие современное литейное оборудование, поэтому необходимо смелее и увереннее использовать их продукцию (формовочные машины, линии) производимые одним из крупнейших в Европе заводов литейного машиностроения "Сиблитмаш" (г. Новосибирск), плавильное оборудование компании "РЭЛТЕК" (г. Екатеринбург), отечественные формовочные связующие материалы, лигатуры и модификаторы. Для получения качественных литых заготовок в разовых песчаных формах в России имеются все необходимые исходные материалы (пески, глины, бентониты), выпускаемые Миллеровским, Хакасским, Воронежским, Лужским, Серпуховским горно-обогатительными комбинатами и другими предприятиями [2].

Для производства форм и стержней с использованием холоднотвердеющих смесей (ХТС) выпускается достаточное количество различных связующих материалов и отвердителей отечественными предприятиями:

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

"Уралхимпласт" (г. Нижний Тагил), ОАО "Карболит" (г. Орехово-Зуево), ОАО "Тверьхимволокно" (г. Тверь), НПО "Карбохим" (г. Дзержинск) и другими.

К сожалению, оборудование для ХТС в России не производится, и заводы вынуждены закупать итальянское, немецкое и английское смесеприготовительное оборудование. Сегодня у нас на станкостроительных заводах имеются незагруженные мощности, свободные конструкторы, и проблему изготовления этого несложного оборудования вполне можно решить.

Для выплавки чугуна и стали в России производятся плавильные комплексы высокой надёжности и качества, не уступающие немецким и американским. Компания «РЭЛТЕК» (г. Екатеринбург) по праву является лидером по производству электроплавильного и электротермического оборудования в России.

Современное отечественное литейное производство имеет ряд проблем, требующих радикальных решений, которые должны основываться на опыте зарубежных стран, богатой сырьевой базе, а также интеллектуальных ресурсах России.

В данном разделе было проведено сравнение отечественных и зарубежных технологий и решений. Приведены преимущества и недостатки зарубежного и отечественного оборудования, применяемого в литейном цехе. А также рассмотрены общие современные тенденции развития литейного производства России.

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

2.1 Анализ технологичности отливки

Изготовление отливки с заданными линейными размерами, конфигурацией, физико–механическими свойствами (прочность, твердость, плотность, структура и т.п.), шероховатостью поверхности и другими требованиями может осуществляться различными методами [2].

Анализ чертежа детали «Крышка подшипника задняя» (рисунок 2.1) показывает, что ее конструкция достаточно технологична для изготовления литьем.

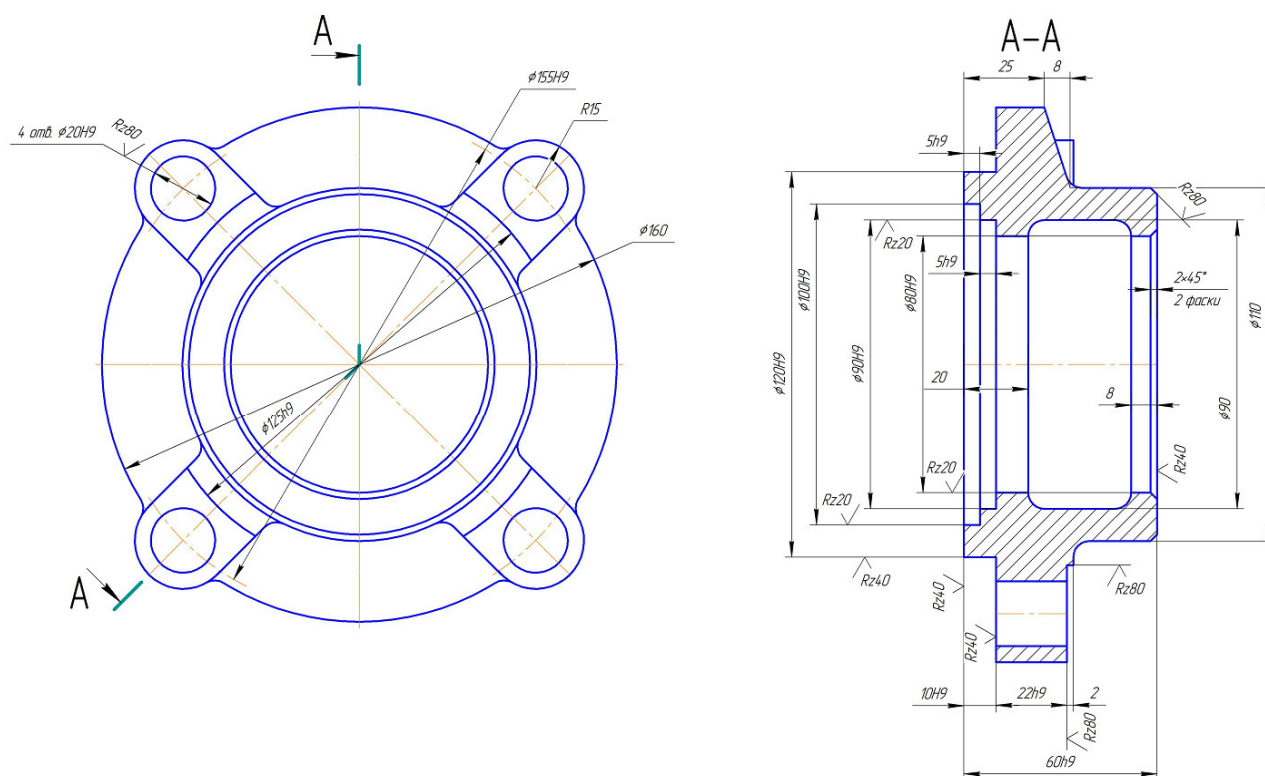


Рисунок 2.1 – Эскиз детали «Крышка подшипника задняя»

Деталь не имеет резких переходов толщин стенок, минимальная толщина – 15 мм, габаритные размеры детали $\varnothing 172,5 \times 60$ мм. Отверстия диаметром 10 мм и меньше литьем не изготавливаем, минимальные литейные радиусы 5 мм. На рисунке 2.2 показана 3D модель детали «Крышка подшипника задняя».

Конфигурация внутренних полостей, отверстий, обрабатываемых поверхностей и расположение баз механической обработки удовлетворяют требованиям технологии литейного производства в разовые песчаные формы.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

Лист

12

Технические требования:

- формовочные уклоны по ГОСТ 3212-92;
- неуказанные литейные радиусы R5 мм;
- точность отливки 9 – 8;
- неуказанные предельные отклонения размеров отверстий H14, валов h14, остальных $\pm \frac{IT14}{2}$;
- литейная усадка 1 %.



Рисунок 2.2 – 3D модель детали «Крышка подшипника задняя»

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

13

2.2 Выбор способа изготовления отливки

Выбор наиболее эффективного способа изготовления определяется на основе комплексного анализа технической, организационной и экономической целесообразности.

Показателями, характеризующими прогрессивность технологического процесса, являются: коэффициент выхода годного; производительность оборудования и труда рабочих; стоимость и срок службы оснастки; капитальные затраты на внедрение техпроцесса; себестоимость отливок и деталей; срок окупаемости капитальных вложений.

Выбор способа изготовления отливок зависит от ряда факторов (серийности выпуска, конструкции отливки, вида металла, требований к готовой детали и т.д.). Для производства данной отливки применяется одноразовая песчано-глинистая форма и стержни на основе Cold-box-amin процесса.

2.3 Выбор положения отливки в форме

Конструирование литейной формы начинается с выбора положения отливки в форме при заливке и с определения плоскости разъема формы. Оно включает в себя также обоснование конструкции и размеров всех элементов формы, рассмотрение вопросов конструирования литейной оснастки (моделей, стержневых ящиков, опок и др.), которые решаются после выбора технологии изготовления форм и стержней.

При выборе положение отливки в форме при заливке необходимо обеспечить соблюдение ряда условий, позволяющих получать качественную отливку при минимальных расходах на ее изготовление.

Положение отливки в форме при заливке и затвердевании определяет весь технологический процесс.

В данном случае отливка должна располагаться в форме горизонтально. В этом случае обеспечивается выполнение следующих условий:

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

- наиболее простое оформление литниковой системы (система обеспечивает подвод сплава к полости формы по кратчайшему пути);
- верхний отвод газов из стержней (через верхние знаковые части);
- получение формы с минимальным количеством стержней;
- надежное крепление стержня.

2.4 Определение поверхности разъема формы

Разъем формы необходим для извлечения модели, сборки формы и удаления полученных отливок. От выбранного разъема зависит трудоемкость изготовления модельной оснастки и литейной формы, трудоемкость обрубных операций и точность размеров отливки.

При изготовлении данной отливки песчаная форма имеет одну поверхность разъема. Отливка в данном случае располагается в обеих полуформах, что исключает брак по смещению. Выбранный разъем обеспечивает следующие технологические решения:

- минимальное количество разъемов, обеспечивающих удобство формовки, выема модели из форм, сборки форм;
- свободное извлечение модели из формы;
- простая конструкция модели без отъемных частей;
- поверхность разъема является плоскостью;
- исключается брак по смещению.

2.5 Определение припусков на механическую обработку

С целью достижения заданных чертежом размеров и необходимого качества поверхности на обрабатываемых поверхностях назначают припуски на механическую обработку. Величины припусков определяют в зависимости от класса точности отливки, ее номинальных и габаритных размеров, положения при заливке, способа литья и вида сплава [3].

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

Припуски на механическую обработку для отливок из черных и цветных металлов и сплавов назначаются по ГОСТ Р53464-2009.

Точность отливки 9 – 8 по ГОСТ Р53464-2009:

9 – класс размерной точности;

8 – класс точности массы.

Отверстия, канавки и пазы малого размера, у которых по чертежу детали предусмотрена механическая обработка, в отливках не выполняются.

Припуски на механическую обработку представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Припуски на механическую обработку

Параметр	Размер		
	Номинальный размер, мм	Ø120	60
Допуск на размер, мм	2,60	2,4	2,4
Класс размерной точности	9	9	9
Шероховатость	Rz 40	Rz 40	Rz 20
Припуск на сторону	3	3	3
Размер оливки	Ø 126	66	74

Величины припусков приведены на чертеже детали с элементами литейной формы.

2.6 Определение формовочных уклонов

Для легкого извлечения модели из формы, на ее рабочей поверхности задаются формовочные уклоны. Величины этих уклонов назначаются по ГОСТ 3212-92. Формовочные уклоны для данной отливки назначаются в сторону увеличения и составляют $0^{\circ}35'$ [4].

На рисунке 2.3 показана 3D модель отливки «Крышка подшипника задняя».

2.7 Определение литейной усадки

Процесс формирования структуры в реальных отливках зависит от многих факторов, которые определяются свойствами каждого конкретного сплава, формы и конструкции отливки. На затвердевание влияют теплофизические свойства



Рисунок 2.3 – 3D модель отливки «Крышка подшипника задняя»

сплава и формы, температура заливки сплава и формы перед заливкой, металлоемкость формы и средняя толщина стенки отливки и другие факторы.

Под усадочными процессами понимают совокупность явлений сокращения размеров и объема металла, залитого в форму, при его затвердевании и охлаждении.

Усадочные процессы в отливках вызваны изменением объема жидкого, затвердевающего и твердого металла, обуславливающим образование усадочных пустот, изменение наружных размеров, развитие деформаций и остаточных напряжений, появление трещин.

Литейная усадка для данной отливки составляет 1 %.

2.8 Определение количества и конструкции стержней

Для оформления внутренних и наружных поверхностей отливки применяют песчаные стержни. Конструкция стержня должна обеспечивать удобное его изготовление, транспортировку и установку в форму. Стержень должен занимать в

форме точно фиксированное положение, не деформируясь под действием собственной массы и от действия жидкого металла. Вместе с тем должно быть обеспечено легкое его удаление из отливки.

Конструкции стержней определяются чертежом отливки, конструкция и размеры знаков стержней, величины зазоров между знаками стержней и формой, конструктивное оформление и размеры фиксаторов на знаках выполняются в соответствии с ГОСТ 3212-92. Для изготовления данной отливки необходим один стержень.

Стержень занимает вертикальное положение, габаритные размеры стержня $\varnothing 90 \times 106$ мм. Для получения отливки необходим 1 стержень.

Зазор между формой и знаком стержня равен $S_1=0,5$ мм для нижней полуформы, $S_2=0,7$ мм для верхней полуформы. Высота нижнего знака 25 мм, уклон на знаке стержня 10° , высота верхнего знака 15 мм, уклон на верхнем знаке стержня 10° . Эскиз стержня №1 представлен на рисунке 2.4.

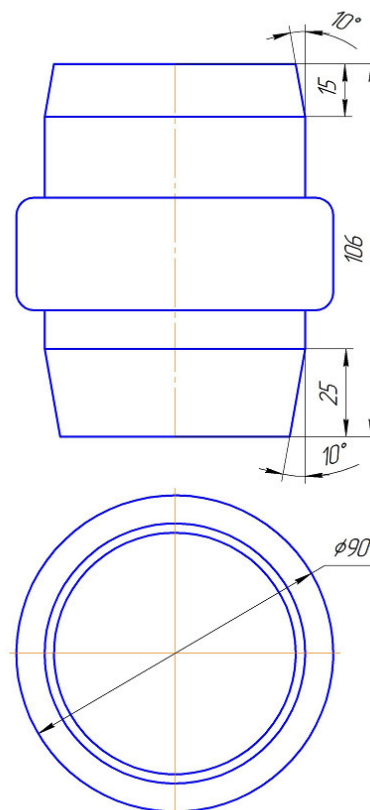


Рисунок 2.4 – Эскиз стержня №1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

Лист

18

2.9 Разработка конструкции и расчет литниковой системы

Литниковая система состоит из литниковой воронки, стояка, шлакоуловителя и питателей. Питатели непосредственно примыкают к полости формы, они выполнены так, чтобы литниковую систему можно было легко отделить, не повредив отливку. Для определения размеров каналов литниковой системы воспользуемся методикой расчета при заливке форм из поворотного ковша. Оптимальную продолжительность заливки форм определим по формуле [5]:

$$\tau_{\text{опт}} = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (2.1)$$

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

S – коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры заливки, рода сплава, места подвода, материала формы и ряда других факторов;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – масса жидкого металла, приходящегося на одну отливку с литниками и прибылями, кг;

Расчет массы жидкого металла, приходящегося на одну отливку с литниками и прибылями [5]:

$$G = G_{\text{отл}} + G_{\text{приб}} + G_{\text{лс}}, \quad (2.2)$$

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

$G_{\text{приб}}$ – масса прибыли, кг;

$G_{\text{лс}}$ – масса литниковой системы (5...10 % от массы отливки с прибылями), кг.

$$G = 4,0 + 0 + 0,2 = 4,2.$$

Подставляя в формулу (2.1) значения коэффициента $S=2$ (для отливок из чугуна), преобладающая толщина стенки отливки $\delta=15$ мм, $G=4,2$ кг получим:

$$\tau_{\text{опт}} = 2 \cdot \sqrt[3]{15 \cdot 4,2} = 7,95 \text{ с.}$$

Определим среднюю скорость подъема уровня расплава в форме в процессе заливки. Она рассчитывается из условия, при котором отсутствуют недоливы и спаи в отливке [5]:

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

$$V_{\text{ср}} = \frac{C}{\tau_{\text{опт}}} \geq V_{\text{доп}}, \quad (2.3)$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость подъема уровня расплава в форме, мм/с;

C – высота отливки по положению в форме, мм;

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

$V_{\text{доп}}$ – допустимая скорость подъема уровня расплава в форме, мм/с;

Подставляем в формулу (2.3) значения высоты отливки $C = 66$ мм, $\tau_{\text{опт}} = 7,95$ с, получим:

$$V_{\text{ср}} = \frac{66}{7,95} = 8,29 \text{ мм / с.}$$

Полученное значение $V_{\text{ср}}$ не соответствует допустимому значению 20...10 мм/с для отливок из чугуна с толщиной стенки 10...40 мм.

Пересчитаем оптимальную продолжительность заливки формы:

$$\tau_{\text{опт}} = \frac{C}{V_{\text{доп}}},$$

$$\tau_{\text{опт}} = \frac{66}{15} = 4,4 \text{ с.}$$

Суммарную площадь узкого сечения литниковой системы, обеспечивающей оптимальную продолжительность заливки формы, определим по формуле [5]:

$$F_{\text{уз}} = \frac{G}{\mu_{\text{ф}} \cdot \tau_{\text{опт}} \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{ср}}}}, \quad (2.4)$$

где $F_{\text{уз}}$ – суммарная площадь узкого сечения литниковой системы для одной отливки, м²;

G – масса жидкого металла, приходящегося на одну отливку литниками и прибылями, кг;

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

$\mu_{\text{ф}}$ – общий гидравлический коэффициент сопротивления формы;

ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³;

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

Средний металлостатический напор в форме определяется по формуле [5]:

$$H_{\text{ср}} = H - \frac{P^2}{2 \cdot C}, \quad (2.5)$$

где H – напор металла от уровня металла в воронке до питателей, мм;

P – высота отливки над питателем, мм;

C – высота отливки по положению в форме, мм.

$$H_{\text{ср}} = 150 - \frac{10^2}{2 \cdot 66} = 149,24 \text{ мм} = 0,149 \text{ м}.$$

Подставляя в формулу (2.4) значения $G = 4,2$ кг; $\mu_{\text{ф}} = 0,42$; $\tau_{\text{оп}} = 4,4$ с; $\rho = 7000$ кг/м³; $g = 9,81$ м/с²; $H_{\text{ср}} = 0,149$ м определим суммарную площадь узкого сечения литниковой системы для одной отливки [5]:

$$F_{\text{уз}} = \frac{4,2}{0,42 \cdot 7000 \cdot 4,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,149}} = 0,000190 \text{ м}^2 = 1,90 \text{ см}^2.$$

Для сужающихся литниковых систем $F_{\text{уз}}$ является суммарной площадью сечений питателей:

$$F_{\text{уз}} = \Sigma F_{\text{п}}.$$

Определим площади сечений остальных элементов сужающейся литниковой системы, обеспечивающих $\tau_{\text{опт}}$ [5]:

$$\Sigma F_{\text{п}} : \Sigma F_{\text{шл}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,2, \quad (2.6)$$

где $\Sigma F_{\text{п}}$ – суммарная площадь сечений питателей;

$\Sigma F_{\text{шл}}$ – суммарная площадь сечений шлакоуловителей;

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

Один шлакоуловитель будет подводить металл к двум отливкам:

$$\Sigma F_{\text{шл}} = 2 \times F_{\text{шл}} = 2 \times 1,1 \times F_{\text{п}} = 2 \times 1,1 \times 1,9 = 4,18 \text{ см}^2.$$

Один стояк будет подводить металл к четырем отливкам:

$$\Sigma F_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} = 4 \times 1,2 \times F_{\text{п}} = 4 \times 1,2 \times 1,9 = 9,12 \text{ см}^2.$$

Для лучшего приема жидкого металла, поступающего из ковша, вверху стояка предусмотрим изготовление литниковой воронки ($D_{\text{в}} = 80$ мм).

Так как сечения питателей и шлакоуловителей имеют форму трапеции, то размеры определяются по формуле [5]:

$$F_{\text{ТР}} = \frac{1}{2}(a + b) \times c \quad (2.7)$$

где a – нижнее основание трапеции, мм;

b – верхнее основание трапеции, мм;

c – высота трапеции, мм.

Высоту питателя принимаем $0,5a$, верхнее основание трапеции принимаем $0,8a$.

$$a=21 \text{ мм,}$$

$$b=0,8a=0,8 \cdot 21=16,8 \approx 17 \text{ мм,}$$

$$h=0,5a=0,5 \cdot 21=10,05 \approx 10 \text{ мм.}$$

Высоту шлакоуловителя принимаем a , верхнее основание трапеции принимаем $0,8a$.

$$a=22 \text{ мм,}$$

$$b=0,8a=0,8 \cdot 22=17,6 \approx 18 \text{ мм,}$$

$$h=a=22 \text{ мм.}$$

Так как сечение стояка имеет форму круга, то размеры определяются по формуле [6]:

$$F_{\text{СТ}} = \pi R^2 \quad (2.8)$$

где R – радиус стояка, мм.

$$R = \sqrt{\frac{F_{\text{СТ}}}{\pi}}$$

$$R = \sqrt{\frac{9,11}{3,14}} = 1,7 \text{ см.}$$

Диаметр стояка принимаем 34 мм.

Эскизы сечений литниковой системы представлены на рисунках 2.5 – 2.7.

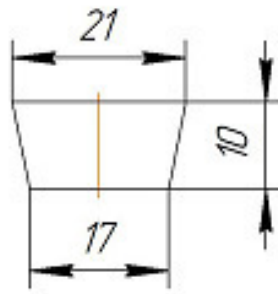


Рисунок 2.5 – Эскиз питателя

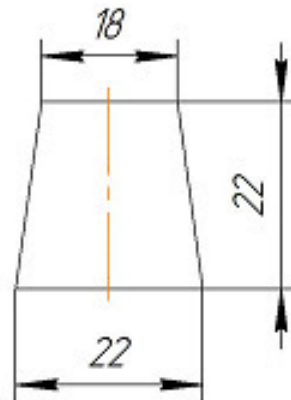


Рисунок 2.6 – Эскиз шлакоуловителя

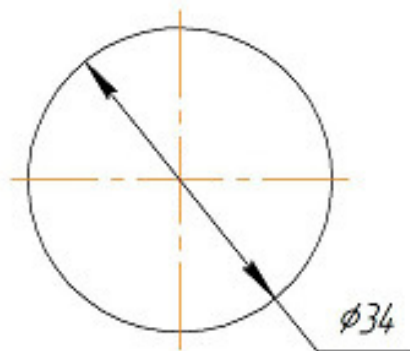


Рисунок 2.7 – Эскиз стояка

2.10 Определение габаритов опок

Габариты опоки определяются габаритами формуемых отливок, числом отливок в форме, расположением и размерами прибылей и литниковой системы, размерами стержневых знаков.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

23

При выборе размеров опок следует учитывать, что использование чрезмерно больших опок влечет за собой увеличения затрат труда на уплотнение формовочной смеси, нецелесообразный расход смеси, а использование очень маленьких опок может вызвать брак отливок вследствие продавливания металлом низа формы, ухода металла по разъему и т.п.

Рекомендуемые толщины слоев формовочной смеси на различных участках формы зависят от массы отливки. После этого определяют минимально допустимые размеры опок в свету с учетом изготовления 4 отливки в форме.

После выбора опок в свету подбирают размер по высоте. Желательно применять верхнюю и нижнюю опоки равными по высоте. Высота опок определяется высотой отливки, выбором места разъема, наличием прибылей и литейной воронки.

Выбираем размеры опок: 600 x 500 x 150/150 мм.

2.11 Выбор модельного комплекта

Литейная оснастка должна обеспечивать получение отливок с требуемой точностью и шероховатостью поверхности. Литейная оснастка по своей роли в процессе изготовления отливок подразделяется на формообразующую и универсальную. Формообразующая оснастка представляет собой модельный комплект, в который входят модели, стержневые ящики, элементы литниковой системы.

Модель – это приспособление для получения внутренних рабочих поверхностей в литейных песчаных формах. Стержневой ящик – это приспособление для получения стержней из песчаных смесей. К универсальной оснастке относятся опоки, подпочные и подмодельные плиты.

Для обеспечения бесперебойной работы цеха необходимо иметь запасной модельный комплект, на случай ремонта основного комплекта.

По прочности модельные комплекты подразделяются на три класса, от прочности зависит количество съемов литейных форм.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

Для массового изготовления данной отливки применяется металлический модельный комплект первого класса точности и третьего класса прочности, запасной комплект допускается изготовить по второму классу точности и второму классу прочности.

Состав модельного комплекта, применяемые материалы и количество приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Состав модельного комплекта

Название	Материал	Количество, шт
модель верха	АК7	4
модель низа	АК7	4
ящик стержневой №1	АК7	1
модель питателя	АК7	4
модель шлакоуловителя	АК7	2
модель стояка	АК7	1

На монтаже верха закреплены четыре модели верха. Каждая модель устанавливается на подмодельную плиту при помощи штифтов и закрепляется болтами со стопорными шайбами. Модель литниковой системы закрепляется при помощи винтов, головки винтов замазывают холодной сваркой. Модель стояка закрепляется при помощи болта.

На монтаже низа закреплены четыре модели низа, при помощи болтов и штифтов. Модель зумпфа устанавливается на подмодельную плиту при помощи болта со стопорной шайбой.

2.12 Изготовления форм

В настоящее время развитие процессов изготовления литейных форм на базе песчаных смесей идет по нескольким направлениям. Основными из них являются опочные и безопочные формы ХТС на базе современных связующих, вакуум-пленочная формовка, дифференциальное прессование и Сейатцу-процесс.

Универсальный способ уплотнения встряхиванием с полной амортизацией удара и одновременным прессованием из-за высокого уровня шума (> 95 дБ) и значительной вибрации практически не применяется во многих странах и распространен лишь в России, странах СНГ и в незначительных объемах в других странах. Ограничения на уплотнение встряхиванием привели к интенсивному развитию способа уплотнения газовым, а потом и воздушным импульсом. Сначала использовали "чистый" импульс, потом возникла потребность в допрессовке. Фирмы G.Fischer и BMD продали многие десятки АФЛ с использованием импульсного способа уплотнения. Параллельно с этим фирма «Кюнкель Вагнер» применила способ уплотнения с использованием вакуума при заполнении опоки смесью и прессовании, фирма HWS широко применяет способ уплотнения потоком воздуха, проходящим через смесь в опоке, и далее через венты в трудно уплотняемых местах на подмодельной плите и модели с последующей подпрессовкой. Применение непосредственно энергии сжатого воздуха в описанных способах в качестве предварительного уплотнения смеси позволило получать качественные формы, существенно снизить уровень шума и сократить операцию уплотнения до 4...6 секунд [7].

Уплотнение формовочной смеси происходит способом Сейатцу – воздушным потоком с последующим прессованием. Пространство у модельной оснастки, состоящее из подмодельной плиты/держателя подмодельной плиты, опоки и наполнительной рамы, заполняется необходимым количеством формовочной смеси открыванием жалюзийных затворов бункера-дозатора (рисунок 2.8) [7].

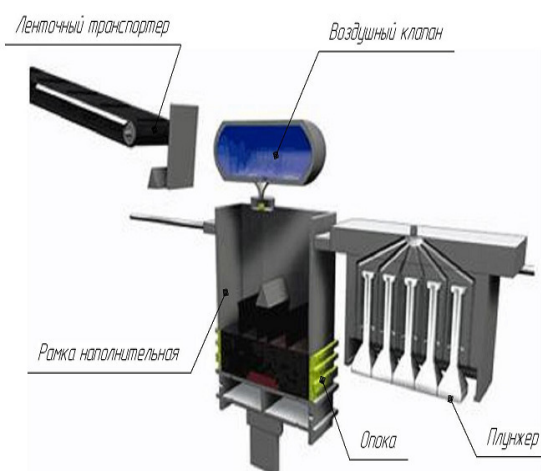


Рисунок 2.8 – Заполнение опоки песчано-глинистой смесью

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

26

Затем бункер-дозатор передвигается под ленточный питатель бункера смеси, а плунжерная головка занимает положение над пространством формы. Стол машины поднимается и давит держатель подмодельной плиты с опокой и наполнительной рамой к прессовой головке таким образом, что все пространство формы оказывается герметично закрытым. Затем кратковременно открывается клапан воздушного потока. Воздушный поток проходит формовочную смесь от контрлада полуформы в сторону модели и уходит через венты в держателе подмодельных плит и/или в самой подмодельной плите (рисунок 2.9). Дополнительное прессование сверху плоской прессовой плитой, мембраной или многоплунжерной головкой производит окончательное уплотнение формы (рисунок 2.10). Во время процесса уплотнения бункер-дозатор снова заполняется смесью. Протяжка модели из формы происходит путем опускания стола машины. Одновременно в исходное положение передвигаются бункер-дозатор смеси и прессовая головка (рисунок 2.11).

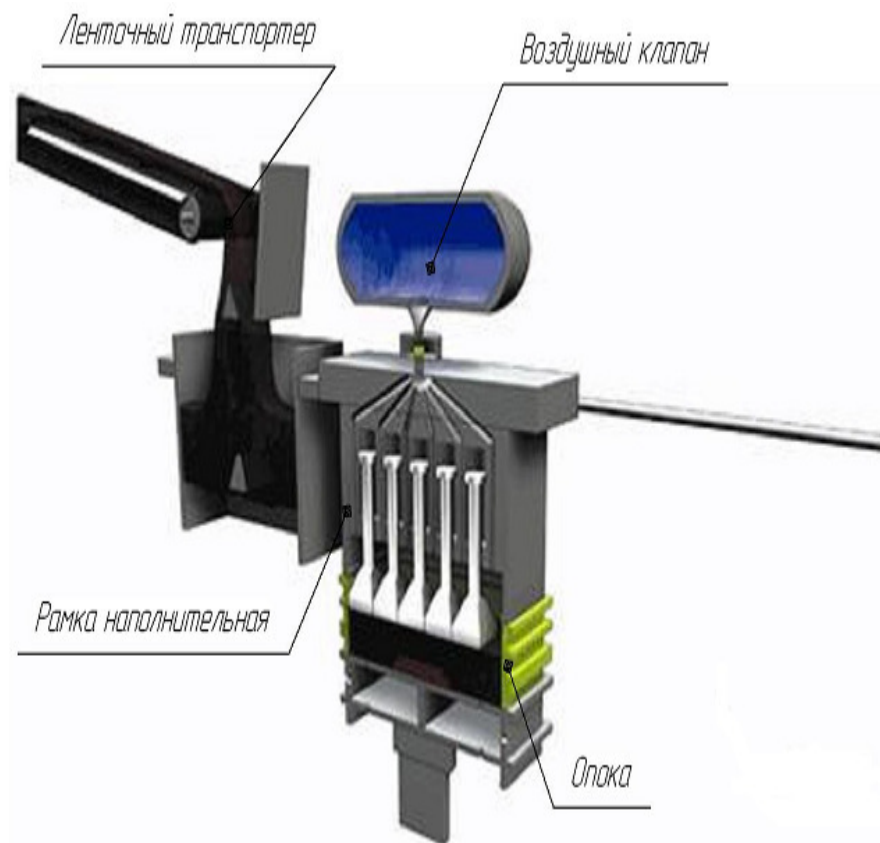


Рисунок 2.9 – Процесс уплотнения форм воздушным потоком по технологии Сейатцу-процесс

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

27

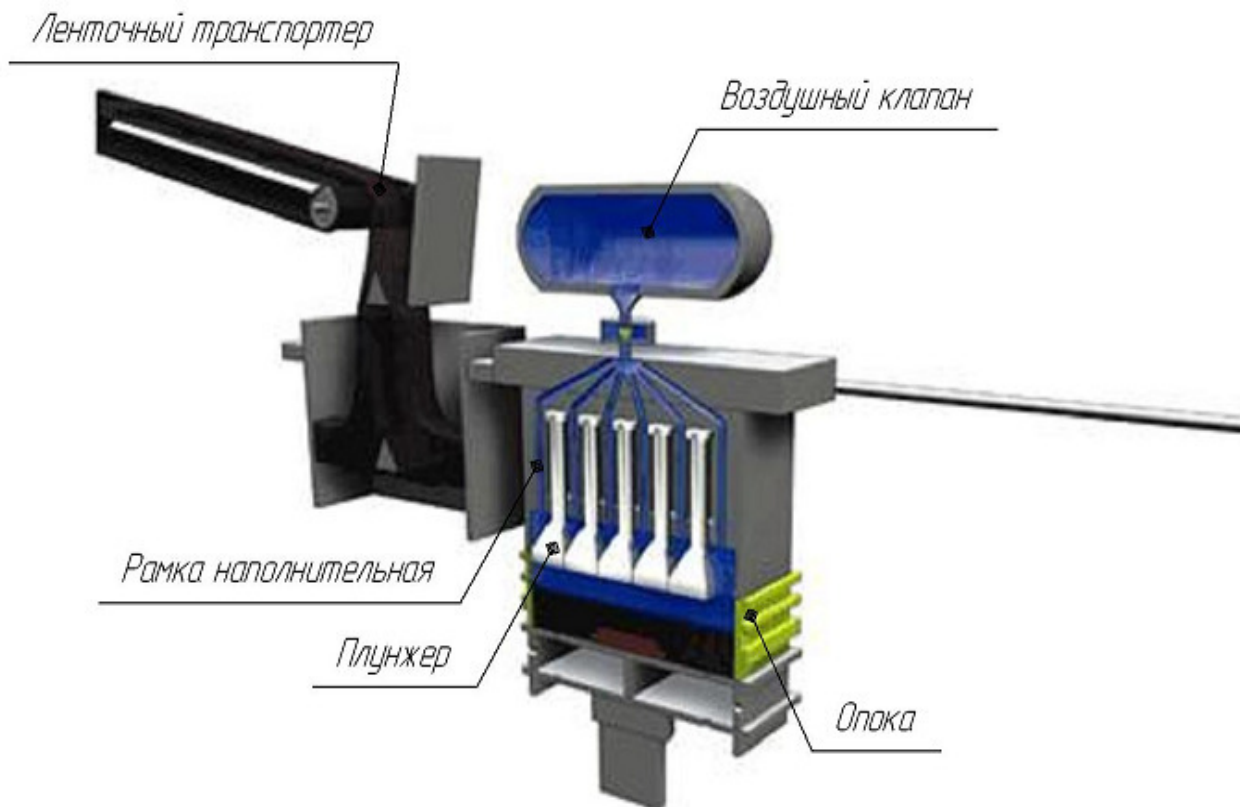


Рисунок 2.10 – Последующее уплотнение многоплунжерной головкой

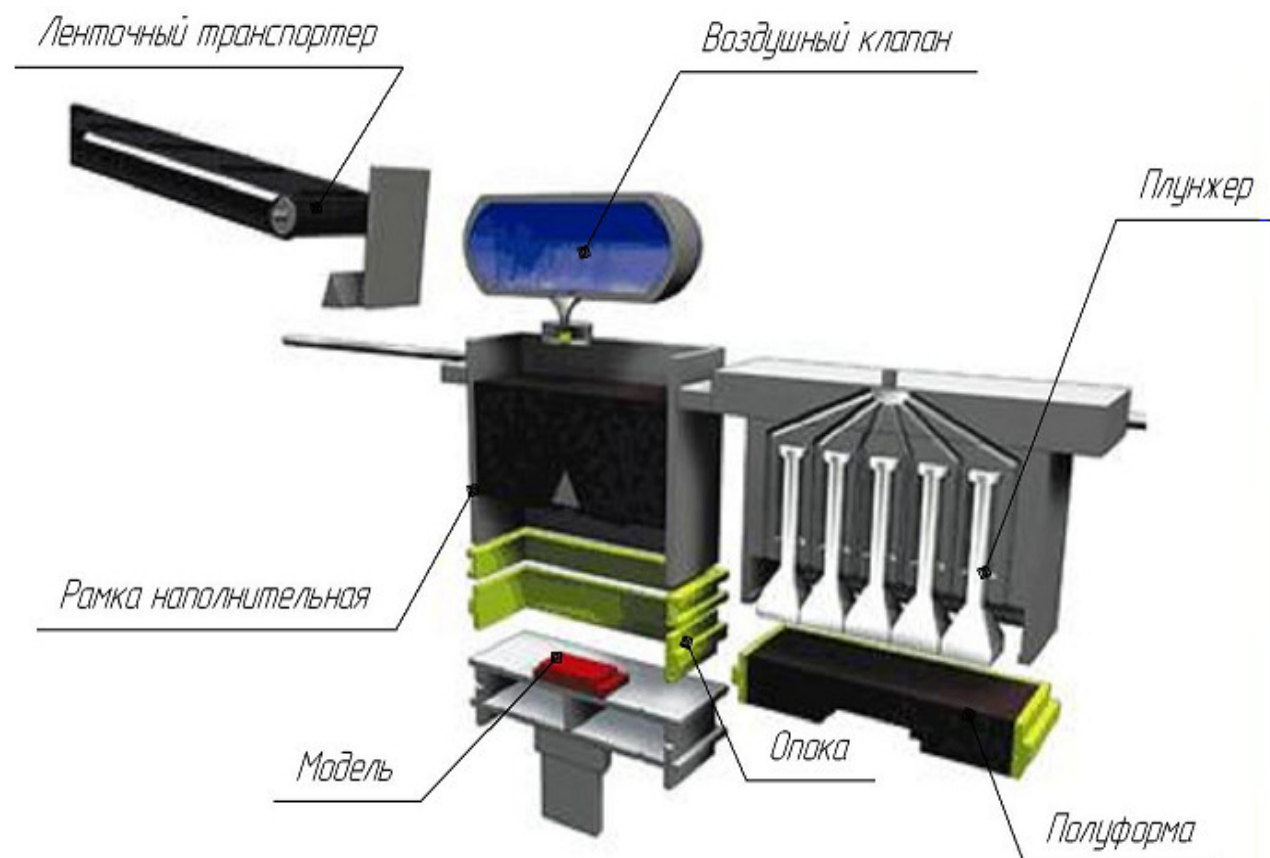


Рисунок 2.11 – Протяжка моделей и готовых полуформ

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

28

При прохождении формовочной смеси в сторону модели воздушный поток оказывает на каждую частицу смеси усилие, направленное вниз. Вместе с потоком воздуха песчинки попадают в самые различные по конфигурации части полуформы. В направлении потока вниз плотность смеси возрастает с каждым слоем, поэтому у подмодельной плиты и самих моделей достигается наивысшее уплотнение (рисунок 2.12) [8].

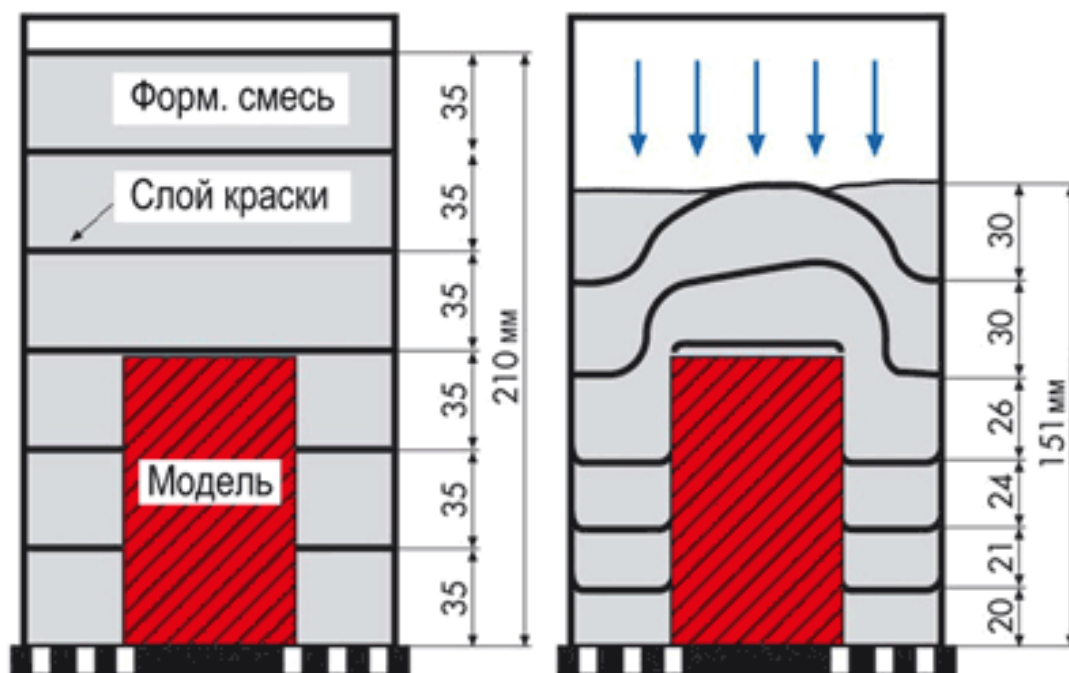


Рисунок 2.12 – Результат экспериментальных исследований послойного уплотнения смеси

Равномерная твердость формы является предпосылкой для изготовления отливок высокой размерной точности. Сравнение между встряхиванием с подпрессовкой и Сейатцу-процессом наглядно показывает более равномерную твердость формы, изготовленной способом Сейатцу (рисунок 2.13) [8].

Расход металла и затраты на механическую обработку отливок снижаются благодаря возможности существенного уменьшения формовочных уклонов и даже менее $0,15^\circ$, а иногда близко к 0° .

В значительной мере уменьшаются затраты на очистку и окончательную обработку отливок. Это обусловлено тем, что по Сейатцу-процессу производятся высококачественные отливки с равномерным качеством в серии, с прекрасной поверхностью, точные по размерам и почти без заусенцев.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

29

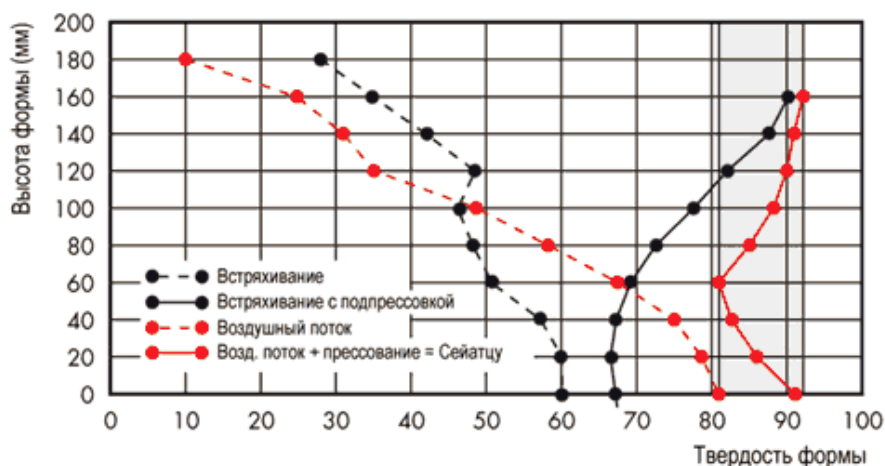
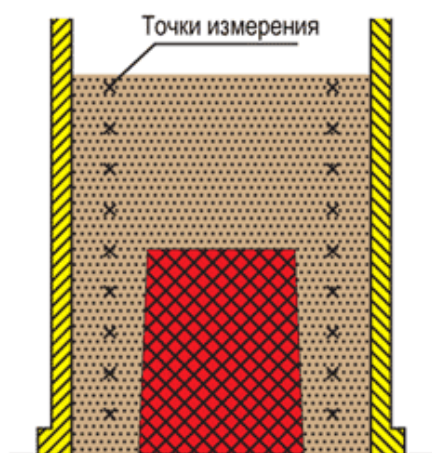


Рисунок 2.13 – Твердость формы по инновационному способу уплотнения песчано-глинистых форм – Сейатцу-процесс и старым традиционным технологиям

Техническая характеристика линии типа HSP-1D:

- размеры опок в свету, мм 600×500;
- производительность, форм / ч 45...70;
- потребляемая мощность, кВт 11;
- усилие прессования максимальное, кН 310;
- подъем прессования, мм 200.

Изготовление данной отливки происходит в песчано-глинистой форме, изготавливаются формы на основе Сейатсу-процесса и заливают чугуном СЧ30.

Состав формовочной смеси, % масс:

- оборотная смесь 94...95;
- песок 2К₂О₂02 ГОСТ 2138-91 5...6;
- бентонитовая глина П1Т₂ ГОСТ 28177-89 0,8...1,0;
- графит ГОСТ4404-78 до 1,5.

Свойства формовочной смеси:

- прочность при сжатии, МПа 0,7...0,8;
- влагосодержание, % 3,2...3,8;
- газопроницаемость, ед 100;
- содержание активного бентонита, % 7,0...8,0.

Практика производства формовочных смесей на основе бентонитовых глин показывает, что есть два способа введения глины в формовочную смесь: в виде порошка и в виде водной суспензии. Причем, исходя из технологических особенностей SEATSU-процесса, применение бентонитовых суспензий весьма затруднено: данная формовочная смесь характеризуется высокими прочностными характеристиками, что связано с использованием высококонцентрированных бентонитовых суспензий, однако суспензии таких бентонитов уже при содержании 10...12 масс. % твердой фазы образуют высоковязкие структуры, что не позволяет перекачивать их по трубам. Поэтому в рамках данного технологического процесса будет использоваться введение бентонита в виде порошка.

Для такого способа приготовления формовочной смеси подойдет смеситель D31 фирмы EIRICH.

Преимущества смесителей EIRICH [9]:

- оптимальная гомогенизация и обработка смешиваемого материала;
- кратчайшее время смешивания;
- малый износ;
- конструкция, не требующая особого ухода;
- непрерывный и периодический режим работы.

Технические характеристики смесителя D31 фирмы EIRICH:

- производительность, т/час 25...30;
- объем однократной загрузки max, т 6,4;
- мощность привода, кВт 45.

2.13 Изготовления стержней

Новейшие разработки ведущих производителей связующих показывают, что в настоящее время идет активный поиск в области создания «экологически» чистой системы для изготовления разовых литейных стержней. Сам факт, что этот поиск продолжается более 10-ти лет и что результаты исследований положительные является доказательством, как сложно создать универсальную систему,

предлагающую литейщикам удовлетворяющий комплекс технологических характеристик. Производители оборудования для литейного производства всячески поддерживают новаторство в области литейной химии и сами участвует в различных автономных проектах по созданию «экологически» чистых связующих. На смену «Hot-Vox»-процессу с конца 70-х годов в литейной практике широкое применение получил процесс «Cold-Vox» для отверждения стержней в оснастке без нагрева с продувкой газовым катализатором. Наиболее применяемыми разновидностями процесса стали в США: «Cold-Vox-Amin», «Эпокси-SO₂» и «Redset», в Европе: «Cold-Vox-Amin», «Betaset», «FRS» и в небольших объемах другие. В отечественном литейном производстве до настоящего времени применяются процессы тепловой сушки в специальных сушилах и отверждения стержня в ящике за счет тепла его нагрева. Эти процессы не обеспечивают требуемой точности геометрических размеров стержней и, соответственно, отливки, требуют повышенных затрат энергоресурсов, имеют низкие экологические показатели.

Причины развития процессов "Cold-Vox" с газовой продувкой известны. Это в первую очередь снижение энергетических затрат, высокие качественные параметры изготавливаемых стержней, возможность получать крупные стержни, превышающие по объему емкость пескострельной головки, за счет проведения нескольких выстрелов. Стоимость не нагреваемой оснастки в зависимости от материала изготовления снижается от 10 до 12 раз. Процесс замены и наладки нового комплекта существенно снижается. Выше размерная точность стержней, хорошая выбиваемость. Равномерное распределение прочности по сечению стержня. На рабочем месте более благоприятные условия труда.

CoId-Vox-Amin-процесс разработан в США фирмой Ashland. Стержневая смесь содержит, %: 100 кварцевого песка и 0,6...0,8 фенольной смолы с 0,6...0,8 полиизоцианата (связующая композиция). После уплотнения смеси в ящике пескодувным или пескострельным способом стержень продувается смесью паров низкокипящей жидкости – третичного амина (триэтиламина, диметилэтиламина), с воздухом, и стержень приобретает начальную прочность, которая составляет 60 %

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

конечного ее значения. Время продувки 2...5 с, далее 10...20 с стержень продувают воздухом для его очистки от паров амина. Расход катализатора < 1,5 г на 1 кг стержневой смеси. В результате взаимодействия компонентов связующего в присутствии катализатора (амин) образуется твердый полимер – полиуретан, который и обеспечивает высокую прочность стержня. Для подготовки, дозирования и подачи амина применяют специальные газогенераторы, которые испаряют амин, смешивают его с воздухом и подают в стержневой ящик. Смесь амина с воздухом после прохода через стержневой ящик направляется в нейтрализатор, где полностью нейтрализуется разбавленной серной кислотой с образованием водорастворимой соли – сульфата аммония.

Для производства стержней применяется стержневой автомат типа LB25 фирмы LAEMPE.

Техническая характеристика стержневого автомата LB25 [10]:

• габаритные размеры стержневого ящика, мм	
в плане	600x500;
по высоте	380;
• производительность цикловая, съемов/ч	25 – 45;
• объем вдува (max), кг	100.
Состав стержневой смеси, %:	
• кварцевый песок 2K ₂ O ₂ ГОСТ 2138-91	100;
• смола фенольная (сверх 100 %)	0,6...0,8;
• полиизоционат (сверх 100 %)	0,6...0,8.
Свойства стержневой смеси:	
• прочность на разрыв (через 1 час), МПа	1,6;
• прочность на разрыв (через 3 часа), МПа	2,4;
• прочность на разрыв (через 24 часа), МПа	3,8;
• влажность, %	3;
• живучесть, мин	25;
• газотворность, см ³ /г	до 14.

2.14 Выбор состава противопригарных красок

Для борьбы с пригаром при литье в песчаные формы на поверхность стержня наносят противопригарное покрытие. Противопригарные краски представляют собой суспензии, состоящие из порошкообразного огнеупорного наполнителя, связующего и стабилизатора, распределенных в дисперсной среде – воде или органической жидкости. Краска должна обладать высокой огнеупорностью, химической нейтральностью по отношению к расплаву и его оксидам, высокой прочностью сцепления с поверхностью формы. Необходимо, чтобы слой краски после высыхания был негигроскопичным, негазотворным, сохранял прочность до образования в отливке достаточно жесткой твердой корки.

Для производства данной отливки применяется противопригарное покрытие для стержней TRIOFLEX WK–DS фирмы ПОЛИМЕТ [11].

Технические параметры:

- цвет бежевый;
- объем твердых веществ, % 65;
- плотность (при 20 °С), г/см³ 1,5;
- вязкость (при 20 °С), Па с 5.

2.15 Разработка технологии сборки форм

Все рабочие операции при изготовлении форм осуществляются на линии последовательно: выдавливание и выбивка форм, распаривание и очистка опок, изготовление новых форм, простановка стержней и спаривание, все шаги со съема заливаемых форм с тележечного конвейера до поставки новых, готовых к заливке форм на тележечный конвейер.

Для отвода выбитых отработавших смесей и просыпей на формовке нужен один ленточный конвейер. Поэтому нужен только один канал для уборочного конвейера под формовочной линией. Расходы на фундамент минимальные, так как все агрегаты линии расположены над полом в хорошо доступных местах.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

Стандартная формовочная линия занимает незначительное место. Расширение линии определяется, прежде всего, участком охлаждения форм в зависимости от требуемого времени охлаждения отливки в форме до выбивки. На рисунке 2.15 схематически изображена формовочная линия HWS HSP-2D стандартного исполнения.

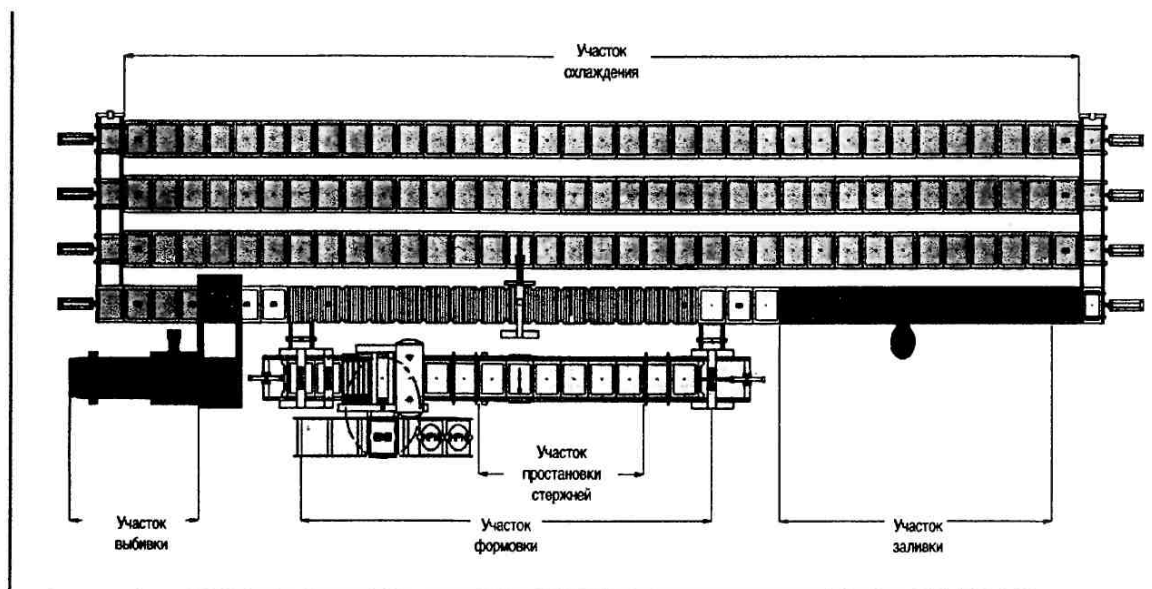


Рисунок 2.15 – Формовочная линия HWS стандартного исполнения

Процесс уплотнения формы «СЕЙАТСУ» осуществляется следующим образом: опока и наполнительная рамка устанавливаются на модельную оснастку. Затем наполняются приготовленной формовочной смесью. Уплотняющее устройство, состоящее из кожуха с гидравлическим прессом, сверху плотно перекрывает опоку. Кратковременно открывается подача сжатого воздуха. Воздух протекает через формовочную смесь сверху до модельной плиты и уходит через венты в держатель подмодельной плиты. Поток воздуха давит на частицы песка с усилением вниз - в сторону модели.

Прочность формы уже после предварительного уплотнения потоком воздуха весьма высокая. Последующее уплотнение плоской прессовой плитой или с многоплунжерной головкой обеспечивает высокие результаты уплотнения формы, удовлетворяющие требования получения качественных форм. Уровень шума при уплотнении ниже 85 дВ.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

35

Уплотненные формы кантуются и проходят участок простановки стержней. В верхней опоке высверливается литниковая воронка.

На конце участка простановки стержней находится спариватель. Вокруг двойной барабанообразной рамы спаривателя имеется втулочно-роликовая цепь, на которой висит передвижная тележка. Под кантователем расположено устройство подъема нижней опоки. Верхняя опока эксцентрично транспортируется в кантователь, кантуется при повороте на 180° и поднимается. Одновременно втулочно-роликовая цепь тянет передвижную тележку по наклонному направляющему рельсу в барабан. Нижняя опока транспортируется на передвижную тележку, поднимается подъемным устройством под верхнюю опоку и затем спаренная форма опускается. Обратным поворотом барабана передвижная тележка с формой передается на участок заливки и охлаждения. Этот универсальный спариватель может быть заменен на традиционно применяемые устройства для спаривания полуформ .

Готовая к заливке форма транспортируется рольгангом на позицию заливки и заливается. После прохода участка охлаждения передвижная тележка транспортирует остывающую форму по наклонному рельсу на участок формовки.

В начале участка формовки находится выбивное устройство, выдавливающее ком смеси из опоки на выбивную решетку (или подобную установку). Затем специальным механизмом очищаются внутренние стенки опок и опоки верха и низа распариваются.

После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливки особенно велика.

На воздухе отливки охлаждаются быстрее, чем и форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений.

Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально допустимой высокой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции отливки. Чугунные отливки рекомендуют охлаждать в форме до 400...600 °С.

2.16 Разработка технологии обрубки, очистки и окраски отливок

Отливки, не имеющие явных дефектов, подвергаются дальнейшей очистке от формовочной смеси, пригара.

Процесс обрубки заключается в отделении от отливки прибылей, литников, выпоров, в удалении облоев (заливов) по месту разъема полуформ или в области стержневых знаков. Прибыли и выпоры от чугунных отливок отрезают с помощью ленточных пил и дисковых станков. Для удаления остатков питателей, прибылей, заливов, заусенцев, перекосов и неровностей применяют зачистные полуавтоматы.

Очистка поверхности металла осуществляется в дробеметном барабане.

Барабаны предназначены для дробеметной очистки мелких и средних отливок из черных металлов от пригара, формовочной земли и стержней перед механической обработкой, окраской, нанесением других защитных покрытий.

Технические характеристики дробеметного барабана 42203 фирмы АМУРЛИТМАШ [12]:

- наибольшая объемная диагональ детали, мм 450;
- высота, мм 5700;
- ширина, мм 4370;
- длина, мм 5700;
- производительность, т/ч 3.

Далее для улучшения структуры, изменению твердости, прочности и пластичности, отливка подвергается термической обработке, низкотемпературному графитизирующему отжигу (680...750 °С). Продолжительность отжига зависит от требуемой конечной структуры и составляет 4...8 часа. Целью такого отжига является повышение пластичности и вязкости чугуна, в структуре которого содержится свободный цементит. Время выдержки при отжиге зависит от содержания в чугуне марганца и фосфора: чем больше их количество, тем длительнее должна быть выдержка. В результате такого отжига цементит распадается на феррит и графит, а структура металлической основы чугуна из перлитно-цементитной превращается в перлитно-ферритную или чисто ферритную.

Для термообработки применяются печи электрические камерные с выкатным подом, просты по конструкции, универсальны для различных изделий и технологических процессов, позволяют широко варьировать режимы термообработки. Печи укомплектованы волокнистой теплоизоляцией, современными системами нагрева, тиристорными системами управления.

Технические характеристики печи ТермоМастер – ДО-13.20.15/1000:

- размеры рабочей камеры, мм 2000x1300 x1500;
- размеры печи, мм 3200x2500 x2500;
- мощность, кВт 200;
- масса садки печи, т 5.

Грунтовку (окраску) отливок применяют для их предохранения от коррозии при длительном хранении или транспортировке. Окраске подвергают наружные и внутренние поверхности отливок.

Для грунтовки применяется нанесение краски в электростатическом поле. При применении этого способа существенно улучшаются условия труда, получается равномерный слой покрытия при значительной экономии краски. Процесс окраски в электростатическом поле легко поддается автоматизации. Заземленные отливки последовательно подаются в электростатическое поле, в это же пространство подается распыленная краска. Частицы краски, ионизируясь, движутся к отливке и оседают на ней. Процесс является саморегулирующимся, так как чем тоньше в

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>38</i>

каком-либо месте слой краски, тем активнее следуют к нему ионизированные частицы.

Окрашенные отливки подвергают сушке в проходных камерах при температуре около 120 °С инфракрасными лучами. При сушке инфракрасными лучами теплота к краске поступает от металла, и просушка идет от внутренних слоев, причем краска застывает не разрываясь.

2.17 Разработка системы контроля технологии качества отливок

В литейном цехе входящему контролю подвергаются шихтовые и формовочные материалы. Шихтовые материалы проверяют на химический состав. Формовочные материалы проверяют на соответствие ГОСТ по зерновому составу, глинистой составляющей, влажности. По ходу технологического процесса проверяется химический состав сплава, контролируется температура заливки. Формовочные смеси два раза в смену проверяют на газопроницаемость и влажность. Готовые отливки обязательно проходят 100 % визуальный контроль на наличие засоров, трещин и так далее. Так как изготавливаемая отливка неответственного назначения, то достаточным будет ее проверка на соответствие геометрических размеров, наличие поверхностных дефектов.

Готовые отливки принимают в соответствии с ГОСТ 1412-70 и ГОСТ 7293-85.

Брак отливок составляет от 3 до 15 % массы выпускаемой продукции. Наиболее часто встречаются внешние дефекты отливок, обнаруживаемые при поверхностном осмотре (несоответствие размеров, спай, недоливы, заливы, пригар и др.); объемные дефекты, расположенные внутри отливки (трещины, раковины и пр.); несоответствие требованиям химического состава и структуры металла; неудовлетворительные механические и другие свойства.

Несоответствие размеров отливки чертежу является следствием дефекта модели, неточности сборки формы или вздутия слабо набитой формы при заливке.

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		39

Заливы (заусенцы) и перекосы образуются по разъему форм вследствие небрежного спаривания полуформ, износа опок и моделей, контрольных штырей и втулок.

Пригар является следствием недостаточной огнеупорности формовочных материалов и красок.

Ужимины могут быть следствием теплового воздействия металла, когда поверхностные слои формы разогреваются и деформируются или отслаиваются, образуя в отливке вмятину. Ужимины также возникают из-за переуплотнения формы, ее повышенной влажности или неоправданно высокой температуры заливки металла.

Газовые раковины наблюдаются при чрезмерной влажности формовочной смеси, недостаточной вентиляции форм и стержней, сыром стержне, газонасыщенном металле, низкой температуре литья. Земляные раковины возникают при низкой прочности форм и стержней, смываемых струей заливаемого металла.

Шлаковые включения образуются при неправильной конструкции литниковой системы и заливке неочищенным от шлака металлом.

Усадочные раковины появляются при неправильной установке литников и прибылей, при высокой температуре заливки металла.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВИЛЬНОГО И ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКОВ

3.1 Производственная программа

Точная программа предусматривает разработку технологических данных для каждой отливки и применяется при проектировании цехов крупносерийного и массового производства с устойчивой номенклатурой (таблица 3.1). В проектируемом цехе материалом для отливок служит чугун марки СЧ30 ГОСТ 1412-85.

Таблица 3.1 – Точная производственная программа

Название отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Годовой выпуск, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5
1.Крышка подшипника задняя	СЧ30	4,20	359523	1510
2.Труба	СЧ30	2,81	654804	1840
3.Кронштейн	СЧ30	3,34	523952	1750
4.Барабан	СЧ30	4,15	378313	1570
5.Шестерня	СЧ30	3,28	535060	1755
6.Стойка	СЧ30	1,85	1172972	2170
7.Кольцо	СЧ30	2,10	980952	2060
8.Колено	СЧ30	2,80	658928	1845
9.Патрубок	СЧ30	2,66	725563	1930
10.Тройник	СЧ30	4,15	378313	1570
Итого				

3.2 Структура литейного цеха

Состав производственных и вспомогательных участков и оборудования, входящих в комплекс литейного производства, должен обеспечить выполнение всего технологического процесса производства отливок, предусмотренных программой, начиная со складов формовочных и шихтовых материалов и кончая грунтовкой отливок.

Цех чугунного литья производительностью 18000 тонн литья в год проектируется с учетом передовых технологий, мощности, номенклатуры, режима работы и типа производства.

Проектируемый литейный цех состоит из производственных и вспомогательных отделений, складских и служебно-бытовых помещений.

Складские помещения включают склады для хранения шихтовых материалов, склады модельной оснастки, приспособлений и инструментов, огнеупоров, готовой продукции.

К служебно-бытовым помещениям относятся конторы цеха, технологическое бюро, службы механика и энергетика, бухгалтерия, отдел труда и зарплаты, производственно-диспетчерская и планово-экономическая службы, отдел технического контроля, гардеробные, душевые, столовые, медпункт, санузлы.

3.3 Режимы работы и фонды времени

Режим работы литейных цехов определяется организацией производства и количеством рабочего времени трудящихся и оборудования.

Проектируемый цех относится к категории литейных цехов крупносерийного производства, в котором выполнение большинства трудоемких операций механизировано и автоматизировано.

В литейных цехах серийного производства отливок применяется параллельный режим работы, заключающийся в выполнении всех технологических операций одновременно на разных производственных площадях и участках литейного цеха разными рабочими и машинами.

Проектируемый цех работает по двухсменному графику работы. Продолжительность рабочей недели составляет 40 часов.

Календарный фонд времени для оборудования составляет $\Phi_K = 356 \cdot 24 = 8760$ ч/год.

Номинальный фонд времени (Φ_H) – это время, в течении которого по принятому режиму должно работать оборудование без учета потерь времени. При двухсменном режиме работы $\Phi_H = 4036$ ч/год.

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		42

Действительный фонд времени определяется путем исключения из номинального фонда неизбежных потерь, связанных с возможными ремонтами оборудования и плановым обслуживанием его.

Действительный фонд времени печей для плавки чугуна $\Phi_{д}=3875$ ч/год; для формовочных линий $\Phi_{д}=3632$ ч/год

3.4 Плавильное отделение

Основой для расчета плавильного отделения является ведомость расхода металла на залитые формы (таблица 3.2), которая составляется на основе точной производственной программы цеха.

Таблица 3.2 – Ведомость расхода металла на залитые формы

Название отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Годовой выпуск, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5
1.Крышка подшипника задняя	СЧ30	4,20	359523	1510
2.Рычаг	СЧ30	2,81	654804	1840
3.Ограничитель	СЧ30	3,34	523952	1750
4.Накладка	СЧ30	4,15	378313	1570
5.Держатель	СЧ30	3,28	535060	1755
6.Крышка редуктора	СЧ30	1,85	1172972	2170
7.Головка	СЧ30	2,10	980952	2060
8.Рычаг	СЧ30	2,80	658928	1845
9.Балласт	СЧ30	2,66	725563	1930
10.Патрубок	СЧ30	4,15	378313	1570
Итого				18000,00

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

43

Продолжение таблицы 3.2

Название отливки	Брак по вине литейного цеха			Отливается в год с учетом брака	
	%	шт	т	шт	т
1	6	7	8	9	10
1.Крышка подшипника задняя	2,7	9707	40,77	369230	1550,77
2.Рычаг	3,5	22918	64,40	677722	1904,40
3.Ограничитель	1,2	6287	21,00	530239	1771,00
4.Накладка	3,1	11728	48,67	390041	1618,67
5.Держатель	4	21402	70,20	556462	1825,20
6.Крышка редуктора	1,3	15249	28,21	1188221	2198,21
7.Головка	2	19619	41,20	1000571	2101,20
8.Рычаг	1,5	9884	27,67	668812	1872,67
9.Балласт	1,9	13786	36,67	739349	1966,67
10.Патрубок	2,4	9080	37,68	387393	1607,68
		139660	416,47	6508040	18416,46

Продолжение таблицы 3.2

Название отливки	Литниковая система			Всего, т
	литниковая система на одну отливку, кг	отливка с литниками, кг	литников на годовую программу, т	
1	12	13	14	15
1.Крышка подшипника задняя	1,47	5,67	542,77	2093,53
2.Рычаг	0,98	3,79	664,17	2568,57
3.Ограничитель	1,17	4,51	620,38	2391,38
4.Накладка	1,45	5,60	565,56	2184,23
5.Держатель	1,15	4,43	639,93	2465,13
6.Крышка редуктора	0,65	2,50	772,34	2970,55
7.Головка	0,73	2,83	730,42	2831,62
8.Рычаг	0,98	3,78	655,44	2528,11
9.Балласт	0,93	3,59	687,59	2654,26
10.Патрубок	1,45	5,60	561,72	2169,40
			6440,32	24856,77

В проектируемом цехе материалом для отливок служит чугун марки СЧ30 ГОСТ 1412-85. Химический состав представлен в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Химический состав СЧ301412-85 (Fe – остальное)

Обозначение по ГОСТ 1412-85	Массовая доля элементов, %						Примеси не более, %	
	C		Si		Mn		S	P
	min	max	min	max	min	max		
СЧ30	3,000	3,200	1,300	1,900	0,700	1,000	0,120	0,200

На основании ведомости расхода металла на залитые формы составляем баланс металла (таблица 3.4).

Металлозавалка рассчитывается по формуле [13]:

$$M = \frac{\Gamma + Л + Б}{100 - П} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где M – годовая металлозавалка по выплавляемой марке, т;

Г – масса годных отливок, т;

Б – масса бракованных и опытных, отливок, технологических проб, т;

Л – масса литников и прибылей, т;

П – безвозвратные потери металла, %.

После расчета металлозавалки определяются остальные значения статей.

$$M = \frac{16000 + 3200 + 480}{100 - 4} \cdot 100 = 20500 \text{ т.}$$

Таблица 3.4 – Баланс металла

Наименование статей	Чугун СЧ30	
	%	т
1. Годные отливки	69,52	17999,98
2. Брак отливок	1,61	416,47
3. Литники и прибыли	24,87	6440,32
4. Технические пробы	0,50	129,46
5. Сливы и сплески	0,50	129,46
Итого жидкого металла	97,00	25115,70
6. Угар и безвозвратные потери	3,00	776,77
Металлозавалка	100,00	25892,47

3.5 Расчет шихты и составление ведомости расхода шихтовых материалов

Расчет шихты производится исходя из требуемого химического состава сплава с учетом фактически используемых шихтовых материалов и применяемых плавильных агрегатов.

Данные расчета представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Ведомость расхода шихтовых материалов

Наименование материала	Расход материалов	
	%	т
Возврат	27,482	7115,716
Лом чугунный 4А ГОСТ 2787-86	67,903	17581,766
Чугун перedefельный П1 ГОСТ 805-95	2,840	735,346
Ферросилиций ФС65 ГОСТ 1415-93	1,224	316,924
Ферромарганец ФМн65 ГОСТ 4755-91	0,551	142,668
Итого	100,000	25892,419

Для плавки чугуна наибольшее распространение получили плавильные агрегаты, использующие электронагрев – индукционные и дуговые печи. Индукционные печи средней частоты (ИПСЧ) обладают несомненными техническими и экономическими преимуществами, обусловленными эффектом внутреннего нагрева шихты вихревыми токами и потерями на перемагничивание ферромагнетиков в сильных электромагнитных полях повышенной частоты. Индукционный метод обеспечивает выделение теплоты непосредственно в металле без теплопередачи излучением или конвекцией, сопровождаемых значительными потерями, поэтому индукционные печи имеют значительно более высокий технологический КПД, чем агрегаты, работающие на топливе.

Для получения чугуна марки СЧ30 предложено к установке в цехе оборудование фирмы «РЭЛТЕК» [14].

Индукционные плавильные установки УИП вместимостью от 1 до 16 тонн предназначены для индукционной плавки черных, цветных металлов токами высокой частоты.

В таблице 3.6 представлен состав установки УИП.

Таблица 3.6 – Состав установки УИП

Номер	Позиция
1	тиристорный преобразователь частоты ТПЧП
2	индукционная плавильная печь типа ППИ (одна или две)
3	блок компенсирующих конденсаторов (БК)
4	двухконтурная станция охлаждения с ионно-обменным фильтром
5	пульт дистанционного управления (ПДУ)
6	гидропривод поворота печи с пультом управления
7	комплект соединительных шинопроводов (ТПЧ-БК-ИПП)
8	понижающий трансформатор
9	ячейка ввода ШВВ
10	система контроля футеровки тигля
11	узел контроля охлаждающей воды

Преимущества УИП фирмы «РЭЛТЕК»:

- активное перемешивание металла и высокая гомогенность расплава;
- возможность зонного перемешивания (фокусирования энергии) в печи;
- отсутствие угара легирующих элементов;
- возможность плавки без "болота";
- широкие технологические возможности при большом выборе емкости печи, типы футеровки и рабочей частоте печи;
- точная регулировка температуры расплава;
- возможность плавки и выдержки металла в одном печном агрегате;
- мгновенная готовность к работе;
- высокая скорость плавки;
- малые удельные показатели потребления электроэнергии на тонну выплавленного металла;
- экологичность технологического процесса;
- сохранение качества питающей сети;
- плавка цветных металлов в набивном тигле.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

47

Из ряда установок УИП выбираем УИП-1600.

Технические характеристики УИП-1600 представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические характеристики УИП-1600

Характеристика	Значение
мощность, кВт	1600
частота тока, Гц	250
производительность тах, т/ч	2,5
номинальная емкость, т;	3

Расчетное количество плавильных агрегатов P_1 определяется по формуле [13]:

$$P_1' = \frac{V_{\Gamma} \cdot K_{\text{Н}}}{\Phi_{\text{Д}} \cdot N'_{\text{расч}}}, \quad (3.2)$$

где V_{Γ} – годовое количество потребляемого жидкого металла (с учетом брака);

$\Phi_{\text{Д}}$ – годовой действительный фонд времени рассчитываемого оборудования;

$N'_{\text{расч}}$ – производительность оборудования (расчетная), принятая исходя из прогрессивного опыта его эксплуатации;

$K_{\text{Н}}$ – коэффициент неравномерности потребления и производства.

В условиях массового и крупносерийного производства $K_{\text{Н}} = 1,0 \dots 1,2$.

$$P_1' = \frac{25115,7 \cdot 1,1}{3875 \cdot 2,2} = 3,24.$$

Число единиц оборудования (P_2'), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле [13]:

$$P_2' = \frac{P_1'}{K_3}, \quad (3.3)$$

где K_3 – коэффициент загрузки ($K_3 = 0,7 \dots 0,85$).

$$P_2' = \frac{3,27}{0,9} = 3,57.$$

Принимаем $P_2' = 4$; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле [13]:

$$K_{3\Phi} = \frac{P'_1}{P'_2}, \quad (3.4)$$

$$K_{3\Phi} = \frac{3,24}{4} = 0,81.$$

Для выплавки СЧ30 принимаем к установке в цехе четыре индукционные плавильные установки УИП-1600 фирмы «РЭЛТЕК».

При расчете количества ковшей учитываются:

- время ожидания ковша у печи, наполнение металлом, продолжительность модифицирования;
- время доставки ковша на участок разливки;
- время раздачи металла из ковша;
- время возврата пустого ковша;
- время выдержки ковша до остывания металла до нужной температуры.

Периоды работы и ремонта ковшей (разливочных и раздаточных) представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Периоды работы и ремонта ковшей

Характеристика	Значение
непрерывная работа	3...4 ч
остывание до ремонта	0,5... 0,7 ч
текущий ремонт	0,5...1,0 ч
установка под желоб, выпуск металла	0,5 ч
капитальный ремонт и подогрев	2... 3 ч
сушка и разогрев после капитального ремонта	2... 3 ч

Емкость раздаточного ковша принимается равной емкости печи. Емкость разливочного ковша принимается исходя из максимальной металлоемкости формы (80,5 кг) и принимается 1 т.

В проектируемом цехе ковши подогреваются перед каждой плавкой до температуры 600...700 °С. Ремонт ковшей производится на участке ремонта ковшей

после выхода его из строя. Сушка ковшей осуществляется после каждого ремонта перед плавкой на специальном стенде при температуре 800...900 °С.

Расчет раздаточных ковшей проводится по формуле [13]:

$$n = \frac{B_r \cdot t}{\Phi_d \cdot Q} , \quad (3.5)$$

где B_r – годовое количество потребляемого жидкого металла, т;

t – средний цикл оборота ковша, ч; $t=0,45$;

Q – емкость ковша, т;

n – количество одновременно работающих ковшей, шт.

Общее количество ковшей, требуемое для работы плавильного отделения, рассчитывается по формуле [13]:

$$N_1 = n \left(\frac{z_1}{z} + 1 \right) , \quad (3.6)$$

где N_1 – общее количество ковшей, шт;

z_1 – время ремонта ковша, $z_1 = 8$ ч;

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

Полное количество ковшей с учетом запаса рассчитывается по формуле [13]:

$$N = N_1 \cdot 1,1, \quad (3.7)$$

Расчет раздаточных ковшей емкостью 3 т проводится по формуле (3.5):

$$n = \frac{25115,7 \cdot 0,45}{3875 \cdot 3} = 0,97.$$

Общее количество ковшей, требуемое для работы плавильного отделения, рассчитывается по формуле (3.6):

$$N_1 = 0,97 \left(\frac{8}{8} + 1 \right) = 1,94.$$

Полное количество ковшей с учетом запаса рассчитывается по формуле (3.7):

$$N = 1,94 \cdot 1,1 = 2,14.$$

Полученное значение округляем до целой величины и принимаем $N = 3$.

Учитывая, что число резервных ковшей не должно быть меньше двух, принимаем количество раздаточных ковшей в проектируемом цехе 5 шт.

Расчет разливочных ковшей емкостью 1 т проводится по формуле (3.5):

$$n = \frac{25115,7 \cdot 0,25}{3875 \cdot 1} = 1,62.$$

Общее количество ковшей, требуемое для работы плавильного отделения, рассчитывается по формуле (3.6):

$$N_1 = 1,62 \left(\frac{8}{8} + 1 \right) = 3,24.$$

Полное количество ковшей с учетом запаса рассчитывается по формуле (3.7):

$$N = 3,24 \cdot 1,1 = 3,57.$$

Полученное значение округляем до целой величины и принимаем $N = 4$.

Учитывая, что число резервных ковшей не должно быть меньше двух, принимаем количество разливочных ковшей в проектируемом цехе 6 шт.

Плавильные отделения литейного цеха располагается в непосредственной близости от шихтового пролета. На основном этаже, где происходит выдача жидкого металла на заливку, размещаются все рабочие места, пульта управления, механизмы оборудования, запорную и регулирующую арматуру и другие узлы оборудования, требующие постоянного наблюдения и обслуживания рабочими. Точки обслуживания расположены на уровне роста человека. Основной грузопоток на участке обеспечивается двумя мостовыми кранами грузоподъемностью 10 т.

Основное плавильное оборудование расположено так, чтобы обеспечить минимальное расстояние транспортировки жидкого сплава от них к потребителям. Пульты управления расположены рядом с рабочими местами, чтобы обеспечить возможность визуального наблюдения с пульта за основными узлами агрегата и действиями рабочих. Ковшовые участки, стенды для подогрева ковшей, размещают в зоне действия подъемно-транспортного оборудования.

Шихтовые материалы завозят в цех железнодорожным транспортом.

Бетонные раздаточные закрома заполняют кусковыми шихтовыми материалами с помощью мостового крана с магнитной шайбой. Затем специальный мостовой кран с магнитной шайбой набирает различные кусковые компоненты шихты и загружает их в воронку-весы, где взвешивается колоша для завалки печи. В эту же воронку могут быть загружены ферросплавы из отдельных контейнеров с помощью весовых дозаторов.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

Готовая колоша пересыпается в бадью и на тележке подается в печной пролет и устанавливает бадью над открытым тиглем печи. После некоторой выдержки, вся колоша загружается в тигель. К вспомогательным помещениям и оборудованию участка относят экспресс-лабораторию, стенды для подогрева ковшей и участок ремонта ковшей. Жидкий чугун отбирается из печи в ковши и транспортируется на заливку передаточной тележкой.

3.6 Формовочное отделение

Исходя из габаритов и номенклатуры отливок выбираем линию HSP-2D фирмы HWS, которая работает на основе воздушно-импульсного уплотнения формовочной смеси. В производстве чугуна применение процесса воздушно-импульсного уплотнения позволяет существенно сократить цикл производства отливок за счет отсутствия объемной или поверхностной сушки форм, повысить производительность и улучшить условия труда.

Изготовление полуформ осуществляется по доставленной с модельного склада оснастке. Формовочная смесь засыпается через ленточный конвейер в опоку, после заполнения машинный стол поднимает модельную оснастку и прижимает к прессовой плите. Таким образом, весь объем формы герметично закрывается. Затем кратковременно открывается клапан формовочной машины Сейатсу. Сжатый воздух проходит через формовочную смесь от ее верха до подмодельной плиты, и выходит через венты. Под действием потока воздуха смесь уплотняется, и полость формы равномерно заполняется частицами смеси. Плотность формовочной смеси повышается в сторону подмодельной плиты, поэтому наибольшее уплотнение достигается в слоях вблизи модели. Окончательную прочность получает форма при последовательном прессовании плоской прессовой плитой. Регулированием давления и продолжительности воздействия потока сжатого воздуха достигается оптимальная твердость формы для каждого случая.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

Изготовление форм происходит с малым шумом, ниже 80 дВ(А), следовательно, достигается улучшение условий труда для всех работающих в литейном цехе.

Состав формовочной смеси, % масс:

- смесь обратная 94,0...95,0;
- свежий песок марки 2К₂О₂02 ГОСТ 2138-91 5,0...6,0;
- глина бентонитовая П1Т₂ ГОСТ 28177-89 0,85...1,0.

Свойства формовочной смеси:

- прочность смеси при сжатии 0,75...0,85 МПа;
- влагосодержание смеси 3,1...3,9 %;
- газопроницаемость смеси более 100 ед.;
- содержание активного бентонита 7,5...8,5 %.

Техническая характеристика линии типа HSP-2D:

- размеры опок в свету, мм
- размеры минимальные 650×500;
- размеры максимальные 1000×800;
- высота минимальная 120;
- высота максимальная 320;
- производительность линии, форм / ч 70 – 90;
- потребляемая мощность, кВт 24;
- усилие прессования максимальное, кН 800;
- подъем прессования, мм 320;
- скорость перемещения форм по конвейерам, м/мин:

на ветке охлаждения 0,5...1,5.

Для определения годового числа форм, а также объема стержней и формовочной смеси на годовую программу составим ведомость изготовления и сборки форм, представленной в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Ведомость изготовления и сборки форм

Название отливки	Внутренний размер опок, мм			Количество отливок в форме, шт	Изготавливается форм в год, шт
	L	B	H		
1	7	8	9	10	11
1.Крышка подшипника задняя	600	500	150	4	92308
2.Труба	600	500	150	10	67772
3.Кронштейн	600	500	150	8	66280
4.Барабан	600	500	150	4	97510
5.Шестерня	600	500	150	10	55646
6.Стойка	600	500	150	8	148528
7.Кольцо	600	500	150	12	83381
8.Колено	600	500	150	12	55734
9.Патрубок	600	500	150	12	61612
10.Тройник	600	500	150	4	96848
Итого					825619

Продолжение таблицы 3.8

Название отливки	Объем смеси для одной формы, м ³				Объем формовочной смеси на годовую программу, м ³
	объем опоки	объем залитого металла	объем стержней	объем уплотненной смеси	
1	12	13	14	15	16
1.Крышка подшипника задняя	0,0900	0,0032	0,0025	0,0843	7777,83
2.Труба	0,0900	0,0054	0,0117	0,0729	4940,47
3.Кронштейн	0,0900	0,0052	0,0140	0,0708	4695,65
4.Барабан	0,0900	0,0032	0,0000	0,0868	8463,88
5.Шестерня	0,0900	0,0063	0,0000	0,0837	4656,00
6.Стойка	0,0900	0,0029	0,0000	0,0871	12943,12
7.Кольцо	0,0900	0,0049	0,0218	0,0634	5286,23
8.Колено	0,0900	0,0065	0,0084	0,0751	4186,76
9.Патрубок	0,0900	0,0062	0,0068	0,0771	4750,05
10.Тройник	0,0900	0,0032	0,0058	0,0811	7849,54
Итого					65549,54

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

54

Расчетное количество автоматических линий для формовочно-заливочно-выбивных отделений при поточном производстве P_1 определяется по формуле [13]:

$$P_1 = \frac{n}{K_{\sigma} N_{\text{п.расч}} \Phi_{\text{д}}}, \quad (3.8)$$

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

K_{σ} – коэффициент, учитывающий потери из-за брака форм и отливок;

$N_{\text{п.расч}}$ – принятая тактовая (расчетная) производительность автоматического оборудования, шт./ч;

$\Phi_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени, ч.

Расчетную производительность определим по формуле (3.8):

$$P_1 = \frac{825619}{0,95 \times 80 \times 3632} = 2,98.$$

Число единиц оборудования, принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.4):

$$P_2 = \frac{2,98}{0,9} = 3,28.$$

Принимаем четыре линии типа HSP-2D. Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.5):

$$K_{\text{зф}} = \frac{2,98}{4} = 0,75.$$

Определяем длину участка охлаждения:

$$L_{\text{охл}} = v_{\text{к}} \cdot \tau_{\text{охл}}, \quad (3.9)$$

где $v_{\text{к}}$ – средняя скорость конвейера линии типа HSP-2D, $v_{\text{к}} = 0,2$ м/мин;

$\tau_{\text{охл}}$ – время охлаждения отливок в форме до ее выбивки, мин;

$\tau_{\text{охл}} = 1$ ч (60 мин).

$$L_{\text{охл}} = 0,2 \cdot 60 = 12 \text{ м.}$$

В данной главе было описано и рассчитано основное оборудование участков.

4 СПОСОБЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

4.1 Модифицирование чугуна

Ввод в расплав чугуна сфероидизирующих материалов (модификаторов) – одна из самых важных стадий при производстве ВЧ. Магний является наиболее часто применяемым элементом для сфероидизирующей обработки базового чугуна и он часто вводится в расплав вместе с церием и другими редкоземельными элементами. Главная цель любого литейного предприятия заключается в производстве 100 % годного литья требуемого качества, при минимальных затратах. Усвоение элементов во время обработки расплава и выход годного - ключевые факторы для достижения указанных целей.

Перечень факторов, влияющих на усвоение элементов во время обработки на ВЧ, включает в себя:

- температуру расплава;
- марку и фракцию применяемого сфероидизирующего модификатора;
- количество обрабатываемого металла;
- скорость наполнения реакционной ёмкости;
- метод обработки.

В специальной части проекта описываются наиболее коммерчески успешные методы обработки:

- модифицирование в первичном или вторичном плавильном агрегате (в индукционном дозаторе, разливочном устройстве, в миксере и др.);
- модифицирование в открытых ковшах (погружение колокола, «сэндвич» – процесс, продувка модификатора с помощью газа) и герметизированных ковшах (автоклавы, конверты);
- модифицирование в промежуточных устройствах (в центробежных смесителях, в контакторах, в автономных реакционных камерах);
- модифицирование в литейной форме (в реакционной камере, в литниковой чаше и т.д.).

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

Краткий обзор каждого процесса включает важные особенности процесса, области его применения и ограничения. Описаны основные принципы для выбора правильного метода обработки. Так же приведены предложения по улучшению существующего оборудования. Кроме этого, описаны эффекты воздействия на расплав основных элементов (магния, кальция, РЗМ и кремния), вводимых в расплав посредством сфероидизирующих модификаторов.

4.2 Методы сфероидизирующей обработки чугуна

Способы обработки приведены на рисунке 4.1 [15].

Схема а. В герметизированный ковш или копильник вводится чистый Mg с помощью колокола с отверстиями. Процесс требует специального дорогостоящего оборудования и наиболее эффективен в условиях механизированных литейных цехов, где требуется сфероидизирующая графит обработка чугуна с регулярными интервалами.

В качестве модификаторов обычно используют сплавы Mg-Si-Fe, содержащие до 30% Mg, пропитанный магнием кокс (43% Mg), или металлический магний, покрытый огнеупорным составом по всей поверхности, за исключением небольшого участка (так называемый МАП – процесс). Преимущества плунжерного метода: высокое, по сравнению с методом пур-овер, усвоение магния (40...50 %); возможность использования исходного чугуна с относительно высоким содержанием кремния и серы. Недостатки метода: необходимость специального оборудования; непригодность для мелких цехов и цехов, нерегулярно выпускающих отливки из ЧШГ; необходимость жёсткого контроля, дымоулавливающего оборудования, большие потери температуры чугуна.

Схема б. В открытый ковш или копильник вводятся калиброванные магниевые прутки или проволока. Недостатки – длительность процесса и зашлаковывание в месте ввода прутка.

Схема в. В герметизированных ковш поступает из испарителя парообразный Mg. Обработка чугуна парообразным Mg характеризуется низкими тепловыми

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

потерями, так как суммарная теплота нагрева, плавления и испарения Mg составляет примерно 1800...2000 ккал на 1 кг Mg. Недостаток – сложность устройства испарителя и герметизации ковша, сложность ремонта и футеровки; неудобство удаления шлака; трудоёмкость и длительность подготовки ковша к следующему циклу обработки (в условиях непрерывного ритма производства ЧШГ это вызывает необходимость наличия нескольких ковшей).

Схема 2. В автоклав помещают ковш с чугуном, создают избыточное давление сжатым воздухом 5...6 атм. и с помощью колокольчика на плунжере вводят Mg.

Усвоение магния достигает 70...80 %. В этом процессе чугун часто преднамеренно перемодифицируется, а затем разбавляется посредством смешения с немодифицированным чугуном до нормальных уровней содержания магния. Процесс может использоваться для обработки сильно различающихся разовых порций чугуна. Применение металлического магния устраняет ввод в ЧШГ нежелательного или необязательного количества кремния и позволяет применять в качестве исходного обычный серый чугун. Ограниченное применение автоклавного метода обусловлено сложностью оборудования и значительными трудностями ухода за ним.

На рисунке 4.2 приведена схема модернизированной автоклавной установки модели 99113 с перемешивателем 1 новой конструкции и механизмом для ввода графитизирующих модификаторов 2 с приводом 3, установленными на крышке автоклава 4. Прямоугольная форма штока перемешивателя, оптимальный угол наклона и геометрии его активной части позволили значительно повысить возмущающее действие и интенсивность перемешивания чугуна с модификаторами.

Защитный слой футеровки обеспечивает стойкость перемешивателя до 5...6 модифицирований. Наличие механизма для «позднего» ввода графитизирующих модификаторов позволяет при литье в песчаные формы получать средние и крупные отливки из ВЧШГ с требуемой структурой и свойствами в литом

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58

состоянии. Недостатки конструкции – сложность устройства и обслуживания автоклава, длительность цикла обработки и падение температуры.

Схема д. Поворотный герметизированный ковш барабанного или конверторного типа, имеет камеру (карман), в которую перед заливкой чугуна помещают заряд Mg или лигатуры. После заливки через горловину и герметизацию ковш поворачивается на 90°, при этом чугун входит в камеру с Mg и подвергается модифицированию. Недостатки таких ковшей: сложность конструкции, трудоёмкая подготовка к работе, необходимость очистки металла от шлака, длительность цикла обработки и большие потери температуры.

Схема е. Плунжерный метод ввода магниевого кокса в жидкий чугун характеризуется низким усвоением магния (18...20 %). Применение специальных ковшей с отъёмным днищем или с горизонтальной перфорированной полкой позволяет повысить усвоение магния их магниевого кокса до 30 %. Уплотнение между съёмным днищем оказалось очень эффективным в массовом производстве ЧШГ для литья труб. Обработочный ковш с полкой имеет отношение высоты к диаметру, равное 3. Перфорированная полка размещается в нижней части ковша на уровне не более 20 % общей высоты ковша, причём полка имеет наклон к горизонту около 5°. Недостаток – сложность подготовки ковшей. Эффективен при однократной обработке больших масс чугуна.

Схема ж. Порошкообразный Mg или тонкоизмельчённую смесь Mg с графитом или известью вдувают (путём инъекции) с помощью струи нейтрального газа, например азота или сухого воздуха. Узкое звено процесса – расход азота и графитовых трубок, выдерживающих обычно от четырёх до пятидесяти операций. Трубки рекомендуется вводить под некоторым углом к поверхности металла. Модификатор находится в герметически закрытом бункере и сыпается через отверстие в подводящую трубку, где захватывается движущимся газоносителем.

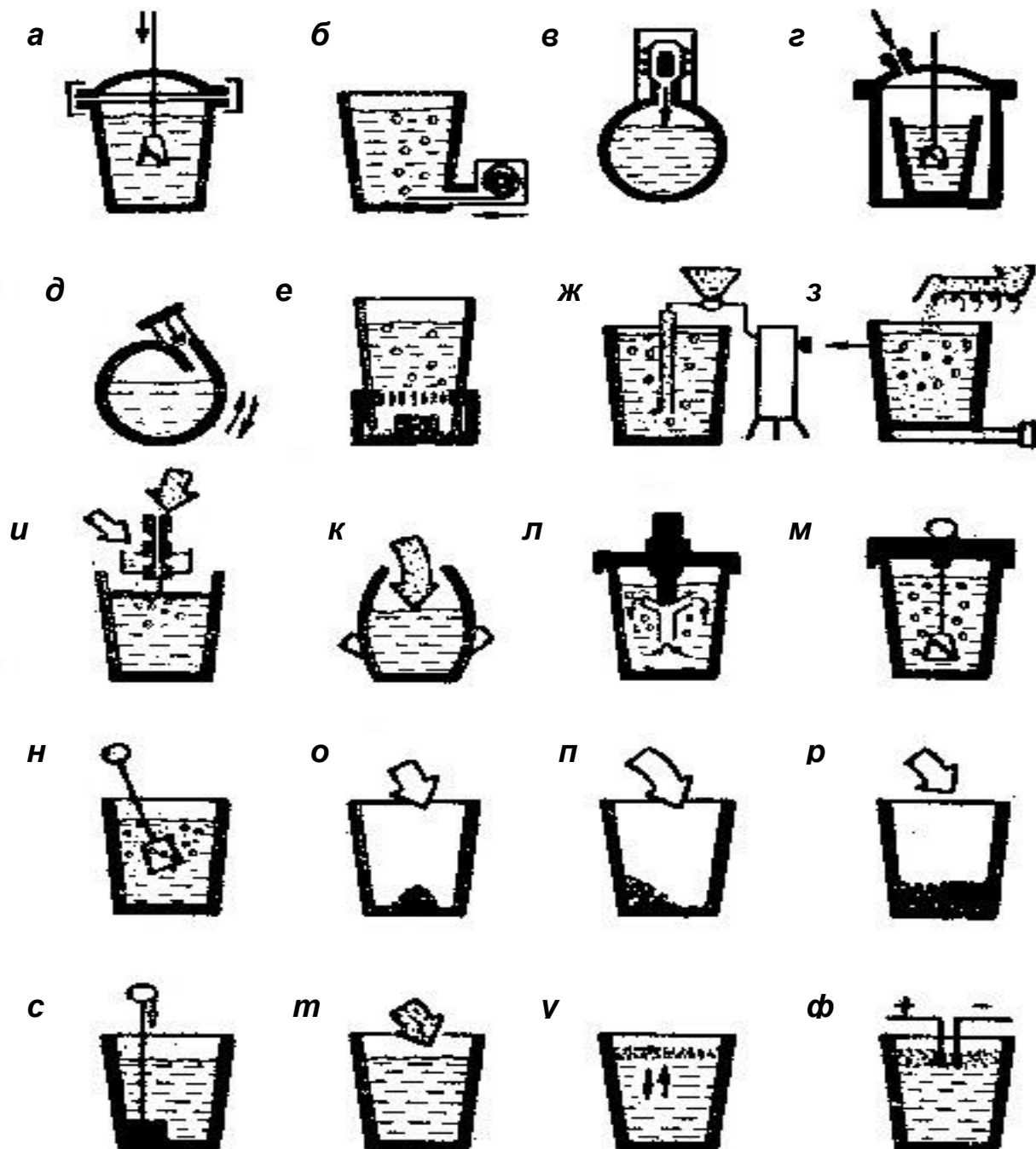


Рисунок 4.1 – Схемы обработки жидкого чугуна сфероидизирующими присадками

Схема 3. Производится продувка азотом для перемешивания чугуна (способ «Осмос» или «Газал») при давлении 1...2 атм. через пористую огнеупорную вставку в днище ковша. Вследствие больших тепловых потерь метод не может применяться в производстве тонкостенных отливок ЧШГ, в том числе труб, без промежуточного перегрева чугуна в электропечах после ковшовой фесульфурации перед модифицирующей обработкой.

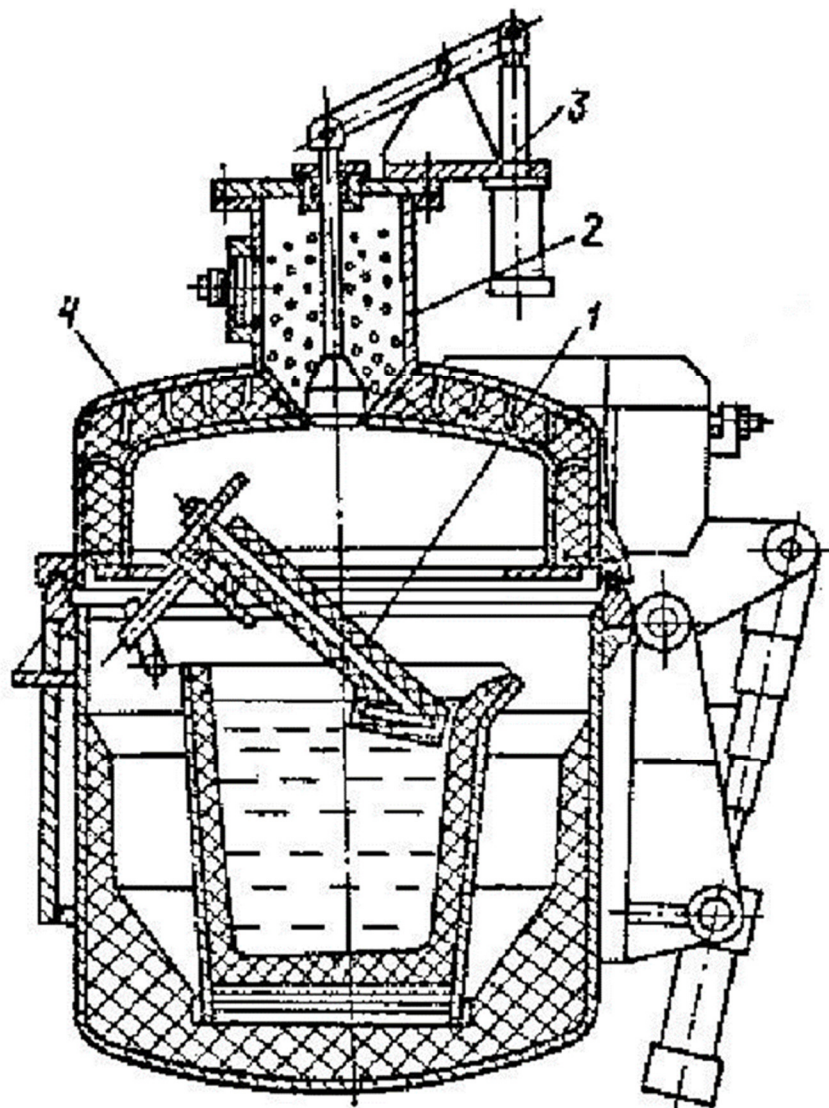


Рисунок 4.2 – Схема модернизированной автоклавной установки модели 99113: 1 – перемешиватель; 2 – механизм для ввода модификатора; 3 – привод; 4 – крышка

В производстве толстостенных отливок массой свыше 0,5 т., температура заливки которых около 1370 °С, дополнительного подогрева чугуна после десульфурации не требуется. Для создания интенсивной циркуляции расплава достаточен расход азота 0,7 м³/мин в 40-тонных ковшах и 0,15 м³/мин в 1-тонных ковшах.

Для осуществления процесса пригодны обычные ковши (футеровка кислая или основная, набивная смесь или огнеупорный кирпич). Пористая пробка не пропускает металл даже в отсутствие продувки газом. Проницаемость пористых

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

Лист

61

пробок рассчитана на падение давления 0,1...0,3 МПа. Продувка может быть прервана или возобновлена в любой момент времени, так что ковш может быть использована для заливки без пробки.

Усвоение магния составляет 30...60 % в зависимости от типа и состава модификатора, разовой массы обрабатываемого расплава.

Недостатки метода: высокий уровень дымовыделения и свечения, что требует соответствующего вытяжного оборудования; невысокое и не всегда стабильное усвоение магния; ограничения, связанные со значительным количеством кремния, вводимым в чугун при сфероидизирующей обработке.

Схема и. Этот метод внутривиточного модифицирования предусматривает использование низкосернистого (не более 0,015 % S) исходного чугуна, переливаемого через специальный огнеупорный многокамерный реактор, в который заранее помещено необходимое количество сфероидизатора. Реактор состоит из трёх камер – приёмной, реакционной и расширительной. Практически реактор используется для обработки относительно небольших разовых количеств чугуна (до 1 т). Модифицированный чугун инокулируют 75 % ферросилицием по мере перетекания расплава из реактора в разливочный ковш. Дымовыделения и пироэффект отсутствуют.

Практически установлено, что при $P < 1500$ кг стойкость реактора – до 50 обработок без зарастания. Однако при недостаточной промывке реактора чугуном для очистки от остатков шлака и металла при загрузке реакционной камеры происходит преждевременное возгорание лигатуры.

Основные ограничения метода: выбросы чугуна из приёмной камеры при низкой скорости перелива через реактор, преждевременное возгорание лигатуры в реакционной камере, её зарастание, а также сложность регулирования гидродинамического баланса.

Схема к. Особенность процесса – использование ковша, вращающегося эксцентрично или встряхиваемого для лучшего перемешивания чугуна. Вместо вращения, наклона или встряхивания ковша можно применять электромагнитное перемешивание металла. При этом используют модификаторы с большой

плотностью. Недостатки: сложность оборудования, значительные дымовыделения и пироэффект, низкое усвоение магния (около 45 %).

Схема л. Использование ковша с механическим перемешиванием металла при помощи огнеупорных мешалок. Способ пригоден для глубинного перемешивания чугуна при применении лигатур, имеющих малую плотность.

Схема м. Погружение одного или нескольких колокольчиков испарителей под массой тяжёлой крышки на дно ковша.

Схема н. Погружение колокольчика – испарителя в ковш вручную. Недостаток – выбросы металла при применении Mg или лигатур с высоким содержанием Mg.

Схема о. Выпуск чугуна в ковш с помещённой в него лигатурой.

Схема п. Выпуск чугуна в ковш с помещённой в него лигатурой, прикрытой листом или с крапом. Схемы о и п применяются только для тяжёлых модификаторов.

Схема р. Выпуск чугуна в ковш с лигатурой, помещённой в кармане ковша (способ «сэндвич»). Это наиболее широко используемый метод в массовом производстве отливок из ВЧШГ. Он предусматривает размещение мелкокускового магнийсодержащего сплава-сфероидизатора в углублении донной части футеровки ковша, нанесение на всю открытую поверхность сфероидизатора слоя покровного материала (обычно стальных штамповочных высечек). Ковш заполняется жидким чугуном таким образом, чтобы струя расплава не попадала прямо на лигатуру и покрывной материал.

Основные преимущества сэндвич-процесса: простота, низкая себестоимость, технологическая гибкость. Основные недостатки: значительные дымовыделения (оксид магния) и свечение, сопровождающие обработку; относительно низкое, иногда нестабильное усвоение магния (обычно 30...40 %); значительное увеличение содержания кремния в чугуне, что ограничивает количество оборотного скрапа ЧШГ, который может быть переплавлен, и содержание кремния в чугуне;

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63

значительное снижение температуры чугуна при обработке; необходимость тщательной очистки ковшей от шлака после обработки для предотвращения попадания шлаковых включений в отливки.

Схема с. Выпуск чугуна в ковш с лигатурой, помещённой в кармане ковша, образованном разделением дна ковша перегородкой на две неравные части. Лигатура укладывается в меньшее по объёму углубление, образованное перегородкой, и прикрывается сверху слоем мелкого слегка утрамбованного CaC_2 . Расход модификатора при этом способе получается меньше, чем при способе «Сэндвич».

Схема т. Засыпка лигатуры на поверхность металла. Этот способ может быть рекомендован лишь для корректировки содержания Mg в ковше.

Схема у. Обработка реактивными покрывными флюсами, из которых с помощью силикокальция восстанавливаются сфероидизаторы. Иногда при этом способе используют промежуточную ёмкость (см. схему).

Схема ф. Проведение процесса электролиза, при котором сфероидизаторы переходят в расплав из флюса, состоящего из MgCl , CaCl_2 и небольшого количества хлоридов и фторидов церия. Производится в печах с основной футеровкой при $t = 1360 \dots 1370 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рисунке 4.3 показана схема литниковой системы для внутриформенного модифицирования (Инмолд-процесс).

Этот процесс предусматривает размещение сфероидизатора внутри литейной формы в специальной реакционной камере, расположенной между стояком и питателем отливки. Он эффективен только для низкосернистого чугуна (не более 0,01 % S) и требует обеспечения равномерной скорости растворения сфероидизатора при заполнении формы расплавом чугуна, предотвращения попадания в отливку не растворившихся частиц сфероидизатора и продуктов химических реакций сфероидизирующей обработки в виде шлаковых включений.

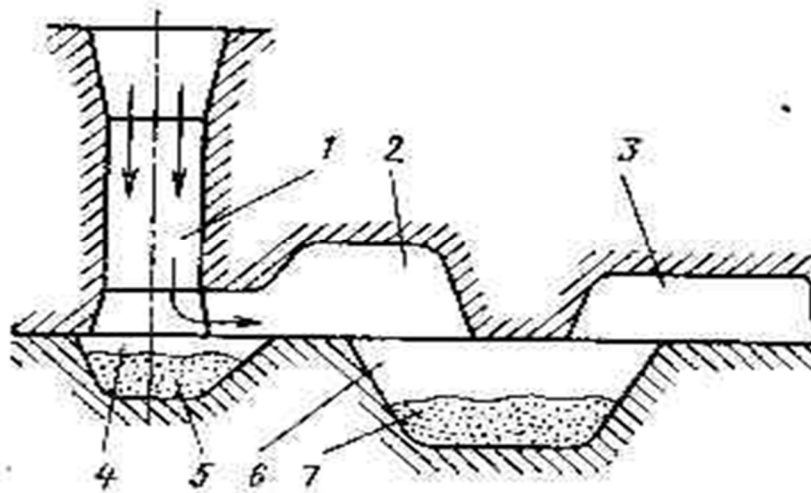


Рисунок 4.3 – Схема литниковой системы для внутриформенного модифицирования: 1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – литниковый ход; 4 – зумпф; 6 – реакционная камера; 5,7 – модификатор

Растворение сфероидизатора в чугуне протекает вне контакта с воздухом, поэтому при оптимальных условиях инмолд-процесс обеспечивает усвоение магния минимум на 80 %. Следовательно, расход модификатора при этом в 2 раз меньше по сравнению с методами сэндвич и плунжерным.

Инмолд-процесс имеет следующие преимущества: отсутствие дымовыделения и свечения, поскольку все продукты реакции сфероидизации адсорбируются материалом литейной формы, это сокращает затраты на оборудование, предотвращающее загрязнение окружающей среды; высокая степень усвоения магния (80...90 % по сравнению с 30...50 % для обработки в открытых ковшах), что сокращает расходы на модификаторы; отсутствие постепенного исчезновения эффекта сфероидизации и инокулирования; возможность возврата в печь неиспользованного чугуна.

К недостаткам процесса можно отнести следующее: необходимость применения специальных сплавов – сфероидизаторов, что ограничивает возможность управления структурой и свойствами ЧШГ за счёт состава модификаторов; необходимость усиленного контроля качества каждой отливки с применением неразрушающих методов испытаний; возможное снижение числа моделей на подмодельной плите; снижение на 2...3 % съёма отливок с литейной формы (опоки) вследствие необходимости установки реакционной камеры в литниковой системе;

необходимость низкосернистого исходного чугуна; опасность загрязнения определённых типов отливок неметаллическими включениями.

Метод Тандиш-кавер. Этот высокоэффективный и относительно простой метод является разновидностью процесса сэндвич. Он предусматривает использование совмещённой крышки-чаши (Тандиш-кавер), футерованной огнеупорами и имеющей заливочно-выпускное отверстие. Чугунный расплав заливают через крышку-чашу в ковш, в реактной камере которого размещён мелкокусковой магниевый сплав-сфероидизатор (рисунок 3.4). Выпуск чугуна из ковша производится через отверстие той же чаши. По сравнению с методами сэндвич и пуровер этот метод имеет следующие преимущества: более высокое и воспроизводимое усвоение магния; отсутствие пироэффекта и резкое снижение дымовыделения, пониженные потери углерода и температуры жидкого чугуна, менее бурная реакция; более технологичная конструкция ковша; меньшее количество шлака, образующегося при сфероидизирующей обработке.

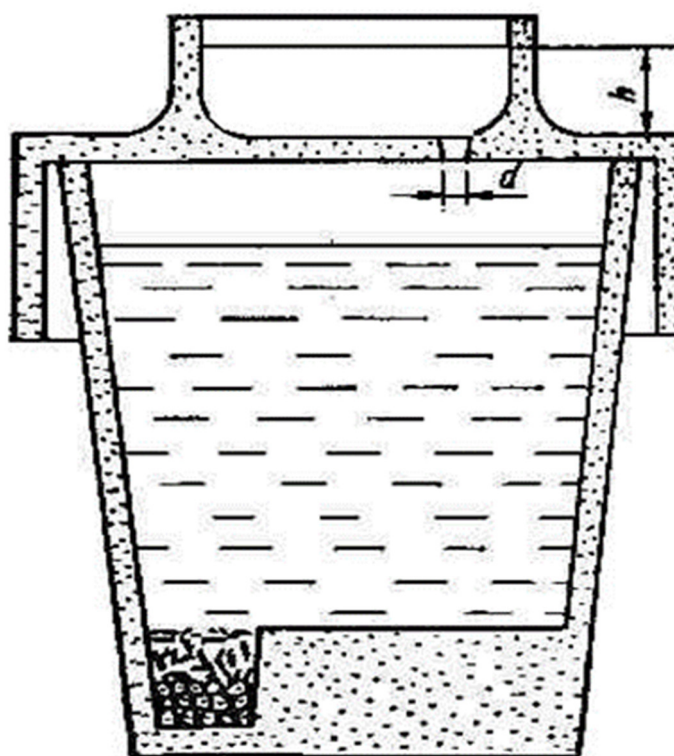


Рисунок 4.4 – Схема ковша со съёмной крышкой – чашей

Толщину стальной крышки устанавливают с учётом массы огнеупорно футеровки и жидкого чугуна в литниковой чаше. Юбку-отражатель и чашу

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

лист

66

изготавливают из более тонкого стального листа. Специальных огнеупоров для крышки не требуется. Толщина футеровки боковых стенок чаши, её днища и внутренней поверхности крышки ковша – обычно 25...40, 40...50 и свыше 50 мм соответственно.

4.3 Типы модификаторов для сфероидизирующей обработки чугуна

В настоящее время существуют различные модификаторы, например, могут быть использованы чистые элементы или их соединения (лигатуры) состоящие из нескольких компонентов.

Чаще всего применяют комплексный модификатор ЖКМК – 2Р среднего состава (в %): 6,1 Mg; 15,2 Ca; 3,68 PЗМ; 49,8 Si, или лигатуру КМ-7 состава (в %): 7,8 Mg, 45,8 Si, и 46,4 Fe. Реже модифицирование осуществляют при помощи лигатуры СР-3, содержащей (в %): 2,36 Ca, 34,6 Si, 40,6 PЗМ, или лигатура Ni-Mg-Ce состава (в %): 83,2 Ni, 16,2 Mg, 0,58 Ce, в связи с их более высокой стоимостью [16].

Для повышения степени усвоения комплексного модификатора, уменьшения газовыделения и пироэффекта, ликвидации выбросов из ковша и повышения механических свойств чугуна предлагаем к применению комплексный модификатор ЖКМ-2 с содержанием 5,7...5,8 % магния.

Анализ сравнительной эффективности степени усвоения модификаторов приведён в таблице 4.1.

Предлагаемый способ модифицирования чугуна, включающий загрузку на дно ковша комплексного модификатора и легкоплавких добавок и последующую заливку в ковш жидкого чугуна, отличающийся тем, что, с целью повышения степени усвоения комплексного модификатора, уменьшения газовыделения и пироэффекта, а также ликвидации выбросов из ковша и повышения механических свойств чугуна, загрузку комплексного модификатора на дно осуществляют в два приёма – вначале загружается смесь, которая представляет собой измельчённый модификатор и легкоплавкие флюсующие добавки в соотношении 10...45:1 с

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		67

расходом модификатора 65...85 % от необходимого на плавку, после чего загружается остальной модификатор, на который наносится слой водорастворимого неорганического связующего, прогреваемого перед заливкой в ковш чугуна до температуры 400...980 °С.

Таблица 4.1 – Количественные характеристики процесса модифицирования чугуна различными модификаторами

Лигатура	ЖКМК-2Р	ЖКМ-2	КМ-7	СР-3	Ni-Mg-Ce
Оптимальная температура модифицирования °С	1460...1480	1420...1440	1400...1430	1400...1430	1400...1430
Степень усвоения, модификатора, %	42,60	71,73	24,60	42,78	41,24
Средний расход на 1 т. чугуна, %	1,6	1,23	2,10	0,80	0,60

В предлагаемом способе первый слой, состоящий из смеси мелкоизмельчённого модификатора и легкоплавких флюсующих добавок, обеспечивает определённую степень спекания гранул модификатора и предотвращает их приваривание к футеровке ковша. Если соотношение измельчённого модификатора и легкоплавких флюсующих добавок меньше 10:1, то количество флюсующих добавок оказывается большим и комплексный модификатор не спекается, а его гранулы легко всплывают в жидком чугуне. При увеличении соотношения больше 45:1 гранулы модификатора легко спекаются между собой и привариваются к футеровки стенок ковша. Количество комплексного модификатора, входящего в состав смеси первого слоя, должно составлять 65...85% от оптимального расхода модификатора, необходимого для получения в чугуне шаровидной формы графита. Если его количество меньше 65%, то второй слой модификатора сильно спекается, тем самым замедляется скорость его растворения в чугуне и частично приваривается к футеровке ковша. При увеличении содержания модификатора в первом слоя больше 85 % значительно уменьшается толщина слоя модификатора второго спекающего слоя и это приводит к увеличению скорости растворения модификатора, быстрому

всплыванию гранул модификатора второго слоя, что вызывает появление пироэффекта и газовыделения.

Оптимальное количество комплексного модификатора, расходуемого на верхний слой составляет 15...35 %, что обеспечивает повышение температуры спекания поверхностного слоя и уменьшение его смывания струёй чугуна, поступающего в ковш. Если количество комплексного модификатора меньше 15 %, то на поверхности образуется тонкий слой спёкшейся поверхностной корки модификатора, поэтому он быстро растворяется и мало влияет на время растворения двух модифицирующих слоёв. При увеличении во втором слое количества модификатора больше 35 % увеличивается степень спекания модификатора и непосредственно на дне ковша и это приводит к снижению степени усвоения модификатора чугуном.

На поверхность второго слоя наносится водорастворимое неорганическое связующее. В качестве такого связующего может использоваться жидкое стекло, алюмофосфатные связки с различными наполнителями и др. неорганические материалы.

Использование неорганических связующих, которые затем нагревают до определённых температур, позволяет связать поверхность второго слоя гранул комплексного модификатора. Кроме того, обладая теплоизоляционными свойствами, образующаяся корочка уменьшает скорость прогрева и спекания модификатора и, в конечном счёте, его растворение.

Для обеспечения испарения воды из неорганического связующего и спекания его, с целью создания на поверхности второго слоя комплексного модификатора достаточно прочной и теплоизоляционной корочки, слой водорастворимого неорганического связующего газовым факелом прогревают до 400...980 °С. Если температура прогрева меньше 400 °С, то не обеспечивается образование прочной поверхностной теплоизоляционной корочки и она легко размывается поступающим в ковш чугуном. При увеличении температуры прогрева выше 980° С в атмосфере воздуха возможно возгорание модификатора, что уменьшает эффективность действия на чугун.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		69

После расплавления и перегрева до 1460...1480 °С чугун выдерживают и при достижении им температуры 1420...1440 °С выливают в ковш, в который предварительно загружают модификатор и необходимые присадки. В качестве модификатора используют ЖКМ-2 с содержанием 5,7...5,8 % магния. Крупность фракций модификатора 0,5...0,8 мм. Крупность фракций легкоплавкого флюса – плавникового шпата 0,02...1 мм.

Данные по составу модифицирующих смесей и способов их загрузки в ковш приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Состав предлагаемых модифицируемых смесей

Характеристика	Показатели для способа							
	известного		предлагаемого					
	1	2	3	4	5	6	7	8
Первая порция модифицирующей смеси								
а) количество ЖКМ-2, %	60	80	98,0	97,0	95,4	93,3	90,9	90,0
крупность фракций, мм	0,5...3,0	0,5...3,5	0,5...5,0	0,5...5,0	0,5...5,00	0,5...5	0,5...5	0,5...5
б) количество плавникового шпата, %	40	20	2,0	2,2	4,6	6,7	9,1	10,0
крупность фракций, мм	0,01...0,05	0,01...0,05	0,02...1,00	0,02...1,00	0,02...1,00	0,02...1	0,02...1	0,02...1
в) количество модификатора его общего расхода для модифицирования, %	100	100	68	65	72	78	86	90
Вторая порция модификатора								
а) количество ЖКМ-2 от его общего расхода для модифицирования, %	–	–	40	35	28	22	15	10
крупность фракций, мм	–	–	0,5...8,0	0,5...8,0	0,5...8,0	0,5...8,0	0,5...8,0	0,5...8,0
Общий расход ЖКМ-2 для модифицирования чугуна	1,6	1,8	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Слой жидкого стекла наносимого на поверхность модификатора, мм	–	–	0,8	1,2	1,8	1,4	1,6	1,0
Температура прогрева теплоизолирующего поверхностного слоя, °С	–	–	1000	400	980	650	800	380
	64,2	57,4	68,3	73,0	73,4	74,0	74,3	67,4

В таблице 4.3 приведено сравнение физических показателей чугунов, получаемых сфероидизирующей обработкой известными предлагаемыми способами.

Таблица 4.3 – Физические характеристики чугуна после доработки предлагаемыми сфероидизирующими присадками

Характеристика	Показатели для способов							
	известного		предлагаемого					
	1	2	3	4	5	6	7	8
Предел прочности при растяжении, МПа,	423	536	557	576	581	603	612	565
Относительное удлинение, %	2,7	2,9	4,3	6,1	5,9	6,4	8,0	4,8
Твёрдость (НВ) , кгс/мм ²	227	233	237	235	233	230	227	230
Характеристика металлической матрицы	П 92 Пд 1,0 Ц 2	П 92 Пд 1,0 Ц 2	П 92 Пд 1,0 Ц 2	П 85 Пд 0,5 –	П 85 Пд 0,5 –	П 85 Пд 0,5 –	П 85 Пд 0,5 –	П 85 Пд 0,5 –
Характеристика графитовых включений	Гф11 Г12 Граз 45	Гф11 Г12 Граз 45	Гф12 Г10 Граз 45	Гф13 Г10 Граз 25	Гф13 Г10 Граз 25	Гф13 Г10 Граз 25	Гф13 Г10 Граз 25	Гф13 Г10 Граз 25

Анализ данных таблицы показывает, что по сравнению с известными способами модифицирования высокопрочного чугуна использование предлагаемого способа модифицирования позволяет повысить усвоение магния при растворении комплексного модификатора с 57,4...64,2 до 73,0...74,2 %, увеличить предел прочности при растяжении чугуна с 52,3...53,6 до 576...612 МПа и относительное удлинение с 2,7...2,9 до 5,9...8 %. При этом отмечено уменьшение газовыделения и пироэффекта, а также ликвидированы выбросы чугуна из ковша.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1 Характеристика производства

В литейном цехе находятся опасные и вредные производственные факторы, такие как:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- электрический ток;
- шум;
- вибрация;
- тепловое излучение.

При проектировании данного цеха были учтены данные факторы и предпринять меры по улучшению условий труда и защитить рабочих от травматизма. Это возможно за счет следующих изменений:

- установления автоматических формовочных и стержневых линий;
- ограждение механизмов и рабочих площадок;
- повышения уровня пожарной безопасности производства путем разработки методов оценки пожарной безопасности оборудования, материалов, технологии и комплексных мер по усилению пожарной профилактики;
- звукоизоляции вытяжных и приточных вентиляционных установок, и другого оборудования, создающего шум.

5.2 Вентиляция

В промышленных зданиях чаще применяют ленточное остекление – непрерывное остекление без простенков между оконными проемами. Оконные проемы в стене заполняют оконными панелями. Панели имеют длину 6 м и высоту 1,2 м.

Работа вентиляционных систем в комплексе с выбором технологических процессов и производственного оборудования, отвечающего требованиям, должна создавать на постоянных рабочих местах, в рабочей и обслуживаемой зонах

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

помещений метеорологические условия и чистоту воздушной среды, соответствующие действующим санитарным нормам.

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха соответствует требованиям СНиП 2.04.05-91.

Воздух, удаленный из здания цеха системами местной и общей вытяжной вентиляции, содержащий вредные вещества подвергается очистке, с помощью мокрых пылеуловителей и рукавных фильтров.

Производственная пыль также оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека, раздражая слизистые оболочки, дыхательных путей и оседает в легких, а также отрицательно влияет на органы зрения, слуха и кожные покровы человека. Для предотвращения отрицательного влияния установлены вытяжные аппараты.

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ (ПДК) в воздухе рабочей зоны регламентируется ГН 2.2.5.1313-03.

В литейном цехе производятся следующие мероприятия по оздоровлению воздушной среды:

- склад формовочных и стержневых материалов оснащен вытяжными аппаратами, так как он характеризуется большим выделением пыли;
- плавильное отделение размещается с подветренной стороны здания, чтобы предотвратить попадания дымовых газов и нагретого воздуха в другие отделения цеха, кроме того, печи оборудованы эффективными устройствами для очистки отходящих газов;
- на участках ремонта и сушки ковшей, установлена местная вытяжная вентиляция с эффективной очисткой отсасываемого воздуха;
- заливочная площадка формовочной линии оборудована верхними боковыми отсосами на всю длину рабочей площадки до начала охладительного кожуха;
- участок охлаждения форм оборудован сплошным вентиляционным кожухом с торцевыми проемами и патрубками для удаления газов;
- формовочная и стержневая смесь готовится в смесителе;
- выбивная решетка оборудована укрытием;

22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ

Лист

73

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

- отделение финишных операций снабжено местными отсосами и укрытиями;
- в цехе предусмотрены изолированные комнаты отдыха для рабочих [17].

5.3 Производственный микроклимат

В цехе проводятся следующие мероприятия для установления необходимого микроклимата:

- автоматизация и дистанционные управления процессами;
- теплоизоляция нагретых поверхностей оборудования, установка экранов у печей;
- для рабочих предусмотрены комнаты отдыха и обеспечение средствами защиты;
- в цехе предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция и воздушное отопление, совмещенное с ней.

Предельно допустимые величины показателей микроклимата в рабочих местах регламентируются по СанПиН 2.2.4.562-96.

Система отопления поддерживает нормальные метеорологические условия в производственном помещении.

Для обогрева помещений используют водяные системы отопления. В качестве нагревательных приборов для таких систем применяют радиаторы, ребристые трубы и регистры из гладких труб.

- теплоизоляцию поверхностей, излучающих теплоту;
- теплоизоляцию и охлаждение рабочих мест;
- вентиляцию производственного помещения;
- распыление воды на рабочих местах;
- спецодежду и индивидуальные защитные приспособления (экраны, очки и т. п.);
- рациональную организацию режима труда и отдыха, а также устройство специальные места, комнаты отдыха;
- сокращение времени нахождения нагретого металла, шлака в производственном помещении.

5.4 Производственное освещение

Освещение в производственных условиях является одним из важнейших факторов. Через зрение человек получает около 90% информации. От освещения зависит утомление работающего, производительность труда, его безопасность.

В литейном цехе предусматривается естественное и искусственное освещение, необходимое для создания благоприятных условий выполнения работы, прохода людей и движения транспорта. От условий освещения зависят сохранность зрения человека, состояние его нервной системы и безопасность на производстве.

По условиям гигиены труда необходимо как можно больше использовано естественное освещение. В литейном цехе это осуществляется через оконные проемы и световые фонари.

Искусственное освещение в цехе создаётся искусственными источниками света: лампами накаливания или газоразрядными лампами. В качестве искусственного освещения на участке предусматриваются люминесцентные лампы.

В местах выпуска металла из печи, на участках заливки и формовки предусмотрено аварийное освещение с использованием люминесцентных ламп, минимальная освещенность которых 10 лк.

В цехе предусмотрено переносное освещение, так как стационарным освещением невозможно создать нормируемый уровень освещенности.

Мостовые краны оборудованы подкрановым освещением, которое выполнено лампами накаливания.

Фактическая освещенность в производственном помещении должна быть больше или равна установленной санитарными нормами освещенности. В противном случае осветительную установку следует ремонтировать.

5.5 Производственный шум

В литейном цехе наибольший уровень шума наблюдается на участках, выбивки и в отделениях финишных операций. Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает физические и психические нарушения, которые

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		75

снижают работоспособность и создают предпосылки для профессиональных заболеваний, а также производственного травматизма.

Допустимая величина шума в цехе согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 – 80дБА.

Для снижения уровня шума в цехе предусматриваем следующие мероприятия:

- применение автоматизированных линий с низким уровнем шума;
- системы вентиляций и местных отсосов снабжены шумопоглощающими устройствами;
- производим звукоизоляцию стенок дробеструйной камеры;
- применение средств индивидуальной защиты от шума (противошумные заглушки «беруши», наушники противошумные)

5.6 Производственная вибрация

В литейном цехе источником общей вибрации является сотрясение пола и других конструкторских элементов здания вследствие ударного действия вибрационных столов в формовочном и стерневом отделениях. Предельно допустимая величина общей вибрации в цехе согласно СН 22-74 – 80 92 дБ.

Предпринимаем следующие меры по устранению вибрации и уменьшению ее вредного явления:

- исключением ручного пневмотранспорта;
- с целью снижения вредного воздействия общей вибрации используется специальная виброзащитная обувь.

5.7 Электромагнитное излучение

В проектируемом цехе источником излучения являются трансформаторы, электродвигатели и генераторы. В таблице 5.1 представлены ПДУ постоянного магнитного поля.

Средствам защиты от неблагоприятного влияния электромагнитного поля:

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		76

- обязательно заземление всех изолированных от земли крупногабаритных объектов, включая машины и механизмы и др.
- средства защиты работающих от воздействия МП частотой 50 Гц могут быть выполнены в виде пассивных или активных экранов.
- защитная одежда включает в себя: комбинезон, куртку с капюшоном, средство защиты для лица, рукавицы (или перчатки), обувь.

Таблица 5.1 – ПДУ постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0...10	24	30	40	50
11...60	16	20	24	30
61...480	8	10	12	15

5.8 Электробезопасность

Электробезопасность - система организационно-технических мероприятий и средств обеспечения защиты людей от опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля, статического электричества.

В цехе приняты следующие мероприятия по обеспечению безопасности труда:

- все токоведущие части электрических устройств и оборудования имеют специальные ограждения;
- все корпуса электродвигателей, а также металлические части, которые могут оказаться под воздействием тока, заземлены
- проведение периодического контроля состояния электрооборудования и изоляции;
- электроустановки снабжаем блокировкой, которая исключает включение оборудования при открытых его частях, которые находятся под напряжением; а также сигнализацией о его включении.

- оборудование снабжается предохранительными устройствами, которые обесточивают его при коротком замыкании.

Защита персонала цеха от воздействия электрического тока предусматривается согласно ГОСТ 12.1.019-96.

Изолирующие защитные средства (перчатки, галоши, коврики и монтерский инструмент с изолированными рукоятками). Одной из наиболее эффективных мер защиты от опасности поражения током в случае прикосновения к металлическим нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением, является защитное заземление. Защитное заземление должно применяться в трехфазных трехпроводных сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В и в сетях с напряжением выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Электробезопасность печей обеспечивается путем применения изоляции, защитных ограждений, блокировки аппаратов для предотвращения ошибочных операций, надежного быстро отключающего автоматического устройства, заземления всех элементов, на которые воздействует высокое напряжение.

5.9 Пожарная безопасность

Весь персонал работающий в цехе должен быть проинструктирован о мерах пожарной безопасности, знать основные требования «Правил пожарной безопасности в Российской Федерации», настоящей инструкции, порядок действий при обнаружении пожара и эвакуации людей, расположения средств пожаротушения, сообщения о пожаре и уметь ими пользоваться.

Каждый работающий (независимо от занимаемой должности) обязан знать, строго соблюдать и поддерживать установленный противопожарный режим, не допускать действий, которые могут привести к пожару, докладывать обо всех нарушениях требований пожарной безопасности своему руководителю.

Лица, нарушающие требования инструкций по пожарной безопасности, несут ответственность в установленном законом порядке.

Противопожарные системы и установки (средства пожарной автоматики, системы противопожарного водоснабжения, противопожарные двери, другие

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		78

защитные устройства в противопожарных стенах, перекрытиях и т.п.) помещений должны постоянно содержаться в исправном рабочем состоянии. Использование данных систем не по прямому назначению запрещено.

Ежедневно, по окончании работы, помещения необходимо тщательно осматривать, рабочие места – убирать, электрооборудование и электросети – обесточивать (за исключением оборудования, которое должно работать круглосуточно по функциональному назначению и (или) предусмотрено требованиями инструкции по эксплуатации).

Мероприятия противопожарной защиты:

- ограничение распространения пожара за пределы очага возгорания;
- наличие путей эвакуации людей при пожаре;
- обеспечение людей средствами индивидуальной и коллективной защиты;
- установка систем противодымной защиты.

Запрещается:

Курить в местах, не отведённых для этой цели. Допускается курение только в специально отведённых местах, оборудованных урнами для окурков с водой.

Загромождать мебелью, оборудованием, другими предметами двери, люки, переходы и выходы на наружные эвакуационные лестницы.

Загромождать мебелью, оборудованием и другими предметами подступы к первичным средствам пожаротушения.

Обеспечение пожарной безопасности промышленных предприятий достигается строгим соблюдением пожарных требований, регламентированных СНиП 2.01.02-85 типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий. Правилами устройства электроустановок [18].

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		79

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан технологический процесс изготовления отливки «Крышка подшипника задняя» из чугуна марки СЧ30 ГОСТ 1412-85 в соответствии с техническими требованиями на литую деталь. После анализа технологичности отливки предложено изготовление отливки в разовую песчано-глинистую форму с использованием холоднотвердеющей смеси для стержней. Разработаны и рассчитаны элементы литейной формы, выбран состав формовочных и стержневых смесей, определена технология плавки чугуна.

Готовые отливки проходят обязательный контроль. Отработанная смесь проходит соответствующую обработку и возвращается в технологический процесс. Для осуществления всех операций технологического процесса было выбрано оборудование.

					<i>22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		80

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ткаченко, С. С., Экологичность как критерий эффективности литейного производства будущего // С. С. Ткаченко, Болдин А. Н., Кривицкий В. С.. – Труды 11-го Съезда литейщиков России. - Екатеринбург. – 2013.
2. Чуркин, Б.С. Технология литейного производства: учебник / Б.С. Чуркин. – Екатеринбург: Изд. Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. – 662 с.
3. ГОСТ Р 53464-2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку (с Изменениями N 1, 2). – Москва: Стандартинформ, 2010. – 56 с.
4. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров. – Москва: Издательство стандартов, 1992. – 24 с.
5. Теория литейных процессов: учебное пособие / Л. Г. Знаменский, В. К. Дубровин, Б. А. Кулаков, В. И. Швецов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. – 163 с.
6. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский. – М.: Издательство Кодис, 2006. – 514 с.
7. Технологические процессы и оборудование: Сборник руководящих технических материалов по современным эффективным технологическим процессам формообразования точных отливок для деталей в машиностроении. – Москва, 2002. – 285 с.
8. Матвеевко, И.В. Формовочное и стержневое оборудование литейных цехов / И.В. Матвеевко, А.З. Исагулов. – Караганда: КГТУ, 2004. – 215 с.
9. Оборудование фирмы «EIRICH». – <http://www.ruscastings.ru/work/168/170/174/3232>.
10. Оборудование фирмы «Laempe». – <http://www.ruscastings.ru/work/168/170/176/3442>.
11. Продукция фирмы «Полимет». – <http://www.ruscastings.ru/work/168/441/444/6159>.
12. Сайт фирмы «Амурлитмаш». – <http://www.amurlitmash.ru/products/3f3eda39c245d/4d0949b8586c3>.

					22.03.02.2018.063.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		81

13. Проектирование и реконструкция литейных цехов: учебное пособие к выполнению дипломного проекта / Б.А. Кулаков, Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина и др. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2001. – 144 с.

14. Официальный сайт фирмы «РЭЛТЕК». – <http://reltec.biz/catalog/item/1>.

15. Сайт «[Металлоторговый портал: Металлопрокат Украины](#)»; статья «Модифицирование высокопрочного чугуна». – <https://www.metalika.ua/articles/modifitsirovanie-visokoprochnogo-chuguna.html>.

16. Сайт «MARKMET»; статья «Получение высококачественного чугуна». – http://www.markmet.ru/tehnologiya_metallov/tehnologiya-polucheniya-vysokokachestvennogo-chuguna.

17. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.

18. Иванов, Б.С. Охрана труда в литейном и термическом производстве / Б.С. Иванов – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.