

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Южно-Уральский государственный университет**  
**(национальный исследовательский университет)»**  
**Факультет материаловедения и металлургических технологий**  
**Кафедра пирометаллургических и линейных технологий**

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_/Б.А. Кулаков/  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Технология изготовления отливки «Рабочий орган» из стали 30Л

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**  
ЮУрГУ-22.03.02.2017. .ПЗ ВКР

Консультант

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель работы

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Консультант

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы

студент группы П-437

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/Сипин С.А./  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Консультант

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
(должность)  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О.Ф.)  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017

## АННОТАЦИЯ

Сипин С.А., Технология изготовления отливки «Рабочий орган» из стали 30Л.  
 Челябинск, ЮУрГУ, ЛП – 537, 2017 г, 63 с.,  
 3 чертежа ф А1, 2 плаката,  
 библиографический список – 10  
 наименований

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии изготовления отливки «Рабочий орган». В работе дано описание всех основных технологических этапов производства отливки, описано применяемое оборудование и приведены необходимые расчеты.

Специальная часть работы посвящена вопросам внутриприбыльного экзотермического разогрева.

В работе также рассмотрены вопросы обеспечения безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды.

|                |             |                   |              |             |                                   |               |             |
|----------------|-------------|-------------------|--------------|-------------|-----------------------------------|---------------|-------------|
|                |             |                   |              |             | <i>22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ</i> |               |             |
| <i>Изм</i>     | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>   | <i>Подп.</i> | <i>Дата</i> |                                   |               |             |
| <i>Разраб.</i> |             | <i>Сипин</i>      |              |             | <i>Лит.</i>                       | <i>Листов</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Провер.</i> |             | <i>Дудровин</i>   |              |             | <i>Д</i>                          | <i>63</i>     | <i>2</i>    |
| <i>Т.конт.</i> |             |                   |              |             | <i>ЮУрГУ</i>                      |               |             |
| <i>Н.конт.</i> |             | <i>Карпинский</i> |              |             | <i>Кафедра ПМиЛТ</i>              |               |             |
| <i>Чтв</i>     |             | <i>Киллкая</i>    |              |             |                                   |               |             |

*Технология изготовления отливки «Рабочий орган» из стали 30Л*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ  | 5  |
| 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ                               | 6  |
| 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ   | 15 |
| 2.1 Анализ технологичности отливки  | 15 |
| 2.2 Выбор способа изготовления отливки  | 16 |
| 2.3 Выбор положения отливки в форме в период заливки и затвердевания                      | 17 |
| 2.4 Определение поверхности разъема формы   | 17 |
| 2.5 Определение припусков на механическую обработку                                       | 19 |
| 2.6 Определение формовочных уклонов и радиусов закруглений                                | 19 |
| 2.7 Разработка конструкции прибылей   | 19 |
| 2.8 Разработка конструкции и расчет литниковой системы                                    | 20 |
| 2.9 Определение литейной усадки отливки   | 24 |
| 2.10 Определение состава шихты и технология плавки сплава                                 | 24 |
| 2.11 Разработка технологии изготовления моделей   | 30 |
| 2.12 Проектирование пресс-формы   | 34 |
| 2.13 Разработка технологии изготовления и заливки форм                                    | 35 |
| 2.14 Разработка технологии выбивки обрубки, очистки и окраски отливок                     | 39 |
| 2.15 Разработка системы контроля техпроцесса и качества отливок                           | 40 |
| 3 ВНУТРИПРИБЫЛЬНЫЙ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЙ РАЗОГРЕВ   | 43 |
| 4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ  | 54 |
| 4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов рабочей среды и трудового процесса | 54 |
| 4.2 Вредные вещества  | 54 |
| 4.3 Микроклимат   | 56 |
| 4.4 Шум   | 57 |
| 4.5 Вибрация  | 58 |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

3

|  |    |
|--|----|
| 4.6 Освещение  | 58 |
| 4.7 Безопасность производственных процессов и оборудования | 60 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ   | 62 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК                                   | 63 |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

Лист  
4

## ВВЕДЕНИЕ

Литье по газифицируемым моделям является одним из новейших способов производства отливок, появившихся в результате научно-технической революции во второй половине XX в. наряду с такими технологическими процессами, как вакуум-пленочная формовка, непрерывное литье, литье под низким давлением, импульсная формовка и др. Однако наибольший интерес у литейщиков вызвало сообщение о способе литья по моделям, которые не удаляются из формы, а остаются в ней и газифицируются под действием тепловой энергии металла, заливаемого в форму. Такая технология, названная литьем по газифицируемым моделям, решала важнейшую задачу литейного производства – повышение точности отливок до уровня литья по выплавляемым моделям при издержках производства литья в песчано-глинистые формы.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

5

•

## 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Получение металлических изделий способом литья является одним из древнейших процессов обработки металлов. Его начало относят к бронзовому веку, за пять тысячелетий до нашей эры. Первые отливки изготавливали из сплавов меди с оловом, цинком, свинцом. Чугунное литье получило развитие в XIII веке.

Для создания машин, приборов, средств транспорта, бытовых устройств, деталей строительных конструкций и т. п. необходимы различные детали сложной конфигурации. Некоторые металлические изделия получают путем прокатки,ковки, прессования. Более сложные детали изготавливают на металлообрабатывающих станках резанием, фрезерованием, сверлением и другими операциями. В отдельных случаях прибегают к помощи сварки отдельных частей.

Но во многих случаях более простым способом получения сложных по форме изделий и более экономичным является отливка изделий в песчаные или металлические формы. При затвердевании металл приобретает очертания внутренней полости формы. В одних случаях литое изделие подвергают механической обработке, в других получают готовое изделие с высококачественной поверхностью.

В дипломной работе рассматривается технологический процесс изготовления отливки «Рабочий орган» из стали марки 30Л ГОСТ 977-88 методом литья по газифицируемым моделям.

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) позволяет получать отливки практически любой конфигурации, при этом с низкой себестоимостью и энергозатратами. В настоящее время ЛГМ успешно применяется при модернизации и создании новых высокотехнологичных производств России.

При литье по газифицируемым моделям отливки получают по пенополистирольным моделям, которые формуют в опоках с песком, уплотняя его вибрацией и используя вакуум. Одной из технологических проблем при получении отливок ЛГМ является предупреждение пригарообразования на поверхности

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

6

отливки. Для ее решения в производстве используют противопопригарные модельные краски.

Но к противопопригарным модельным краскам предъявляется комплекс требований: хорошая смачивающая способность по отношению к полистирольным моделям, высокая газопроницаемость, низкая газотворность, достаточная термостойкость и наличие противопопригарных свойств покрытия, а также экологичность и технологичность процесса приготовления краски, нанесения покрытия и его сушки.

Технология литья по газифицируемым моделям состоит из следующих этапов:

- изготовление модели из полистирола (путем задувания в пресс-форму или на модельном станке);
- окраска модели противопопригарным покрытием (возможна предварительная сборка моделей в блоки путем склеивания или припаивания);
- формовка модели в опоку на вибростоле (в данном методе литья в качестве формовочной смеси применяется песок);
- вакуумирование формы (поверх формы накладывается полиэтиленовая пленка, с помощью вакуумного насоса и системы очистки газов формовочный песок спрессовывается);
- заливка металла в форму (стояки также выполняются из полистирола, расплавленный металл газифицирует полистирольную модель (или блок) и занимает ее место);
- охлаждение отливки;
- чистка полученной отливки.

ЛГМ имеет ряд неоспоримых преимуществ, среди которых [1]:

- снижение затрат на последующую механическую обработку (повышенная точность размеров получаемых отливок);
- сокращение трудозатрат в несколько раз;
- снижение потребления электроэнергии в несколько раз;
- возможность использования любого вида металла;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

7

- снижение капиталовложений на оборудование (вибростол заменяет все остальное формовочное оборудование).

Недостатками литья по газифицируемым моделям можно считать, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определённой скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведёт к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

Еще одним недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками.

В современном мире технология литья по газифицируемым моделям активно внедряется на некоторых Российских заводах.

Рассмотрим на примере ОАО «Машзавод Труд». Проведены эксперименты по получению отливок с помощью различных типов полистирола (строительный, экструдированный, специальный литейный) и изготовлению пенополистирольных моделей двумя способами. На данный момент у завода уже имеется оборудование, необходимое для выполнения технологии ЛГМ, такое как вибростол, станок для резки пенополистирола, вакуумная установка, специальные опоки. Также планируется приобретение автоклавов для запекания полистирольных моделей.

Данный промышленный метод отличается компактностью производства и является более экологичным по сравнению с традиционными методами литья.

Однако существует немало проблем, связанных с внедрением новой технологии литья на завод. Одна из них связана с выбором полистирола. Как известно, для изготовления моделей используется полистирол мелких фракций 0,3 мм — 0,9 мм, в то время как размер фракций строительного пенополистирола, используемого на ОАО «Машзавод Труд», достигает 5 миллиметров. Себестоимость такого строительного полистирола гораздо ниже специального литейного.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

Лист

8



Однако его использование приводит к следующим дефектам: полученная модель имеет высокую шероховатость, локальные углубления, что приводит к низкому качеству поверхности отливки. Для снижения брака при получении отливок необходимо использовать специальный литейный пенополистирол, размер фракций которого специально подобран для изготовления литейных моделей, стоимость которого в 50 раз выше. Вопрос о целесообразности покупки данной марки полистирола обсуждается. В целях экономии средств для изготовления модели была попытка использовать экструдированный полистирол. Однако плотность этого материала в 1,5 раза выше, чем у обычного ( $30 \text{ кг/м}^3$  и  $20 \text{ кг/м}^3$ , соответственно), что приводит к более интенсивному выделению газов, и следовательно, снижению экологичности данного процесса, что послужило причиной отказа от его использования. Другой не менее важной проблемой является погрешность станка модели СПР для резки пенополистирола. Вырезание моделей из плит пенопласта происходит нагретой нихромовой проволокой, перемещение которой задается трехкоординатной системой ЧПУ. Однако данный станок имеет большую погрешность, в отдельных случаях достигающую до 3 мм, что не позволяет изготавливать отливки достаточной точности. На данный момент рассматривается вариант изготовления особо точных полистирольных моделей с помощью алюминиевых пресс-форм. Модели отливок производят задуванием гранул пенополистирола в пресс-формы с последующим вспениванием и склеиванием гранул при нагреве пресс-форм до  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  в автоклавах.

Этот метод создания точных моделей целесообразен при серийном производстве, так как требует изготовления алюминиевой пресс-формы для каждой изготавливаемой отливки. На этапе подготовки опок также существуют проблемы. Вибростол, используемый для вакуумирования и спрессовывания песка при формовке опок, производит виброуплотнение песка лишь в одном направлении. Этого недостаточно для того, чтобы обеспечить необходимый уровень уплотнения песка. Для этого необходимо использовать вибростол с двумя направлениями виброуплотнения – горизонтальным и вертикальным. Сами опоки, первоначально созданные на заводе специально для литья по газифицируемым моделям, также

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

9

имели свои недостатки. Наличие двух отверстий ограниченного размера не позволяло с необходимой скоростью удалять газы из опоки в процессе литья. В результате отливки не полностью проливались, оставляя часть пенополистирольной формы неудаленной. Кроме того, сетка, используемая для удерживания песка в местах отверстий для удаления воздуха, часто разрушалась. Увеличение в опоке количества отверстий для отсасывания позволило решить возникшую проблему (рисунок 1.1).

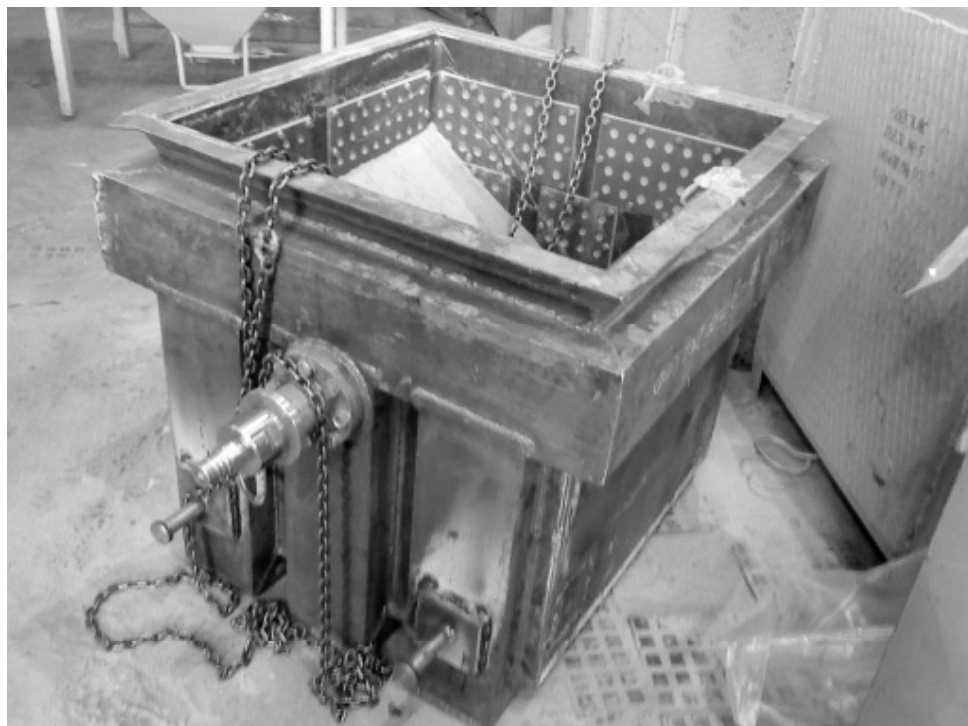


Рисунок 1.1 – Усовершенствованная специальная опока для ЛГМ

Можно выделить преимущества технологии литья по газифицируемым моделям: сравнительно недорогое оборудование, повышенная точность полученных отливок, снижение трудозатрат – позволяют сделать вывод о целесообразности внедрения данной технологии на ОАО «Машзавод Труд». Планируется дальнейшее развитие этого метода литья: разработка системы пескооборота, усовершенствование процесса формования путем замены вибростола, освоение автоклавного способа получения полистирольных моделей.

По мнению американских специалистов, ЛГМ-процесс является одним из лучших современных способов литья, который может удовлетворить потребности крупносерийного производства отливок высокой точности. В сочетании с

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

10

системой автоматического управления на базе микропроцессорной техники и роботов применение данного способа литья позволит создать гибкое производство отливок. Такое положение основано на единой опоке, в которой используется весь ее объем, в отличие от разъемной формы, едином формовочном материале — песке, простоте формовки, неограниченном сроке хранения моделей и недорогой оснастке.

В 1990-е гг. ЛГМ находит широкое применение в Японии, Корее и Китае. В Японии около 200 фирм используют ЛГМ для производства отливок из различных сплавов. Фирма «Mogikawa Sandino» в кратчайший срок приобрела репутацию лидера в производстве отливок ЛГМ и стала ведущей фирмой в разработке технологии и оборудования для данного способа производства отливок. В 1984 г. она начала проводить исследования данного процесса, а уже в 1985 г. стала производить в промышленном масштабе втулки подшипника для двигателя «Honda», гильзы цилиндров из фосфорванадиевого чугуна, коробку дифференциала из высокопрочного чугуна, впускные коллекторы из алюминиевого сплава. В КНР создано специализированное предприятие по производству отливок соединительных деталей трубопровода. Фирма «Dong Kik» (Корея) освоила производство фитингов из высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям. В 1988 г. в промышленно развитых странах производство отливок ЛГМ осуществлялось более чем в 100 литейных цехах с месячным выпуском 400 т чугуна и 2000 т алюминиевого литья. Еще в 100 литейных цехах велись опытно-промышленные работы по освоению производства отливок из различных сплавов. В Англии в конце 1980-х гг. было сдано в эксплуатацию шесть опытно-промышленных установок для изготовления отливок данным способом. По данным зарубежных специалистов, количество цехов, работающих по технологии ЛГМ, в ближайшие несколько лет будет ежегодно удваиваться.

Расширению объемов производства отливок ЛГМ в различных странах способствовало дальнейшее совершенствование технологии и оборудования. Так, фирмы «Castek» (Англия) и «Teksid» (Италия) разработали технологический

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

11

процесс под фирменным названием Policast, который включает в себя технологию изготовления моделей, сборку модельных блоков, их окраску и формовку, заливку формы металлом. Фирмы «FATA» и «Fiat Teksid» построили в Италии два цеха для производства коллекторов автомобильных двигателей по Policast-процессу. В одном цехе выпускаются выхлопные коллекторы из серого чугуна на автоматической линии производительностью 40 форм в час, причем в форме одновременно отливаются 8 коллекторов. В другом цехе на автоматической линии производительностью 50 форм в час отливаются впускные коллекторы из алюминиевого сплава.

Ассоциация «SCRATA» (Steel Casting Users and Trade Association) разработала технологический процесс ЛГМ под фирменным названием Replicast в двух вариантах. При Replicast-FM модель из пенополистирола с литниковой системой устанавливается в контейнер и засыпается сухим песком, который затем уплотняется вибрацией. Верх контейнера закрывается полиэтиленовой пленкой, и в форме создается вакуум порядка 0,04...0,05 МПа, после чего форма заливается металлом. Такая технология ЛГМ позволяет получать отливки в форме из песка массой до 2 т, что значительно расширяет область применения ЛГМ-процесса. Способ Replicast-CS (Shell moulding refractory) разработан для производства отливок из высококачественных малоуглеродистых сталей и других сплавов, которые чувствительны к продуктам термодеструкции пенополистирола. По данному способу на модель из пенополистирола повышенной плотности (40...50 кг/м<sup>3</sup>) наносится керамическая оболочка из 4...5 слоев, как при литье по выплавляемым моделям. Толщина оболочки составляет 3,2...4,7 мм. Затем полученная керамическая форма помещается в печь, где при температуре 9300 °С происходит спекание оболочки и выгорание модели. Полученная керамическая оболочка помещается в контейнер, засыпается кварцевым песком, который уплотняется в контейнере вибрацией, затем полученная форма накрывается полиэтиленовой пленкой, и перед заливкой формы металлом в ней создается вакуум порядка 0,04...0,05 МПа. Такая технология позволяет получать точные и качественные отливки из низкоуглеродистых марок стали без поверхностного и

|     |      |        |       |      |
|-----|------|--------|-------|------|
|     |      |        |       |      |
| Изм | Лист | № док. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

12

объемного науглероживания. Ассоциация «SCRATA» отдала все права на продажу лицензии по Replicast-YVponQccy фирме «Foseco International», и она за короткое время реализовала 13 лицензий. Фирма «Glencast Ltd» по лицензии фирмы «Foseco» производит до 90 % заготовок штампов. Аналогичные отливки данным способом получает фирма «Haffersley Neuman Hender». Фирма «Bradey and Foster» (Англия) на линии производительностью 6 форм в час получает литьем по га-зифицируемым моделям в вакуумируемые формы из песка крупные отливки из жаро- и износостойких чугунов. Это позволило ей полностью отказаться от стержней, а в ряде случаев и от механической обработки, при этом трудозатраты на очистку отливок сократились на 29 %, на формовку - на 28 %, на механическую обработку - на 9 %. Точность отливок возросла на 13 %.

В России на ОАО «Волжский литейно-механический завод» (ныне — ОАО «Волжский завод точного литья») создан цех, оснащенный высокопроизводительным оборудованием отечественного изготовления для производства отливок из серого и высокопрочного чугуна мощностью 5 тыс. т в год. В цехе предусмотрены регенерация отработанного песка и каталитическое дожигание продуктов термодеструкции модели. Работы по завершению процесса внедрения оборудования и технологии проводились на заводе на основании программы Правительства Российской Федерации НИИЛитмаш, МГИУ и ОАО «СММ» (Специальное машиностроение и металлургия). В 1993 г. по технологии ЛГМ на ОАО «Южноуральский арматурно-изоляционный завод» пущен цех по производству изоляторов и арматуры высоковольтных линий электропередачи из высокопрочного чугуна мощностью 500 т. В конце 2000 г. технология ЛГМ внедряется на ЗАО «Златоустовский литейный завод "Металпласт"», на заводе «СОЭЗ-Автодеталь» для производства отливок из алюминиевых сплавов для ВАЗа, на ООО «АКС» (С.-Петербург) для производства отливок из медных и углеродистых сплавов взамен литья по выплавляемым моделям. ООО «АКС» в настоящее время является единственным в России разработчиком и поставщиком механизированных линий формовки, заливки и выбивки форм и другого оборудования для цехов и участков литья по

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

13

газифицируемым моделям. Отливки из медных сплавов производятся на ООО «Металит» (г. Ижевск). Научно-исследовательские работы по данному процессу проводятся на кафедре литейного производства МГИУ под руководством автора. Технология ЛГМ в настоящее время внедряется на многих предприятиях Российской Федерации.

Литье по газифицируемым моделям характеризуется универсальностью отливок по размерам, конфигурации и применяемым сплавам. Поэтому в настоящее время ЛГМ является актуальным и прогрессивным способом литья для создания новых высокотехнологичных производств России.

В зависимости от состава противопригарной модельной краски и способа ее нанесения во многом зависит отсутствие пригара на отливках и повышение качества их изготовления ЛГМ.

Для оценки состояния и перспектив развития отрасли проводится ежегодный мониторинг. Основной вклад в эту работу в последние годы осуществляло ОАО «Проектно-технологический институт литейного производства».

Исходя из вышесказанного и непростой экономической ситуации в стране и мире, нам необходимо развивать свои технологии и предприятия в области литейного производства. Постепенно замещать импортное оборудование Российскими аналогами.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

14

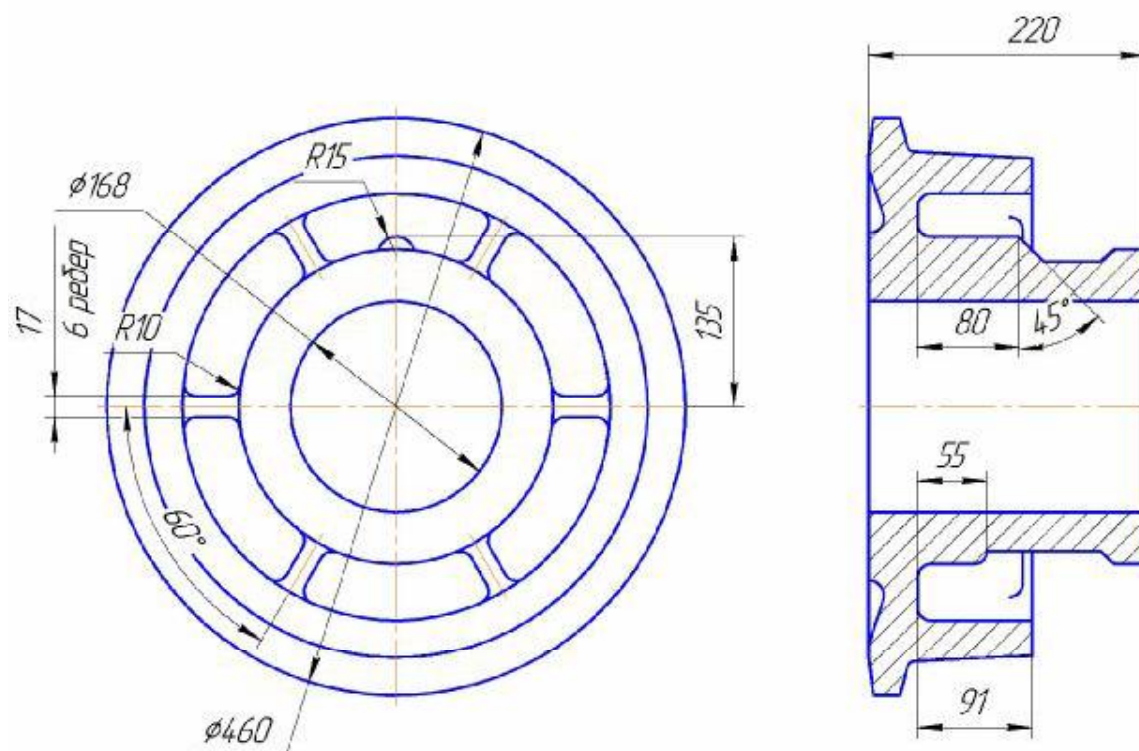
## 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

### 2.1 Анализ технологичности отливки

Проектируемая отливка отвечает всем основным требованиям литья по газифицируемым моделям:

- возможность изготовления модели из пенополистирола;
- относительная равностенность модели, для обеспечения ее жесткости и точности;
- толщина стенки более 5 мм;
- внутренние замкнутые, открытые и полуоткрытые полости имеют проемы и отверстия, которые обеспечивают их заполнение сыпучим материалом при формовке;
- масса отливки до 100 кг;

Анализируя чертеж отливки, можно сделать вывод о технологичности её изготовления методом ЛГМ. Эскиз отливки «Рабочий орган» приведен на рисунке 2.1.



| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

15

## Рисунок 2.1 – Эскиз отливки

### 2.2 Выбор способа изготовления отливки

Выбор рационального способа производства отливки зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются:

- серийность производства;
- марка сплава;
- масса детали;
- требования к точности размеров и конфигурации отливки;
- специальные требования (герметичность, прочности и т.д).

Существует множество способов изготовления отливок, самым широко распространённым является производство отливок в одноразовые песчаные формы, связующей композицией в которых может быть глина, смола и т.д. Так же существует ряд специальных способов литья, применение которых возможно только при крупносерийном и массовом производстве отливок из-за дороговизны оборудования и оснастки. В последние годы широкое распространение получил метод изготовления отливок по газифицируемым моделям, который относится к технологии точного литья [2].

Литье по газифицируемым моделям окончательно утвердилось в серийном и массовом производстве отливок ответственного назначения, потеснив традиционные способы литья, и в первую очередь в песчано-глинистые формы по извлекаемым моделям. Для производства отливки «Рабочий орган» целесообразно применение технологии литья по газифицируемым моделям.

Преимущества литья по газифицируемым моделям:

- уменьшение затрат на оборудование и материалы;
- исключение из производственного процесса стержневого, формовочного и смесеприготовительного оборудования;
- применение в качестве материала формы сухого кварцевого песка и упрочнение формы вакуумом;
- снижение требований к квалификации рабочего персонала;
- возможность комплексной автоматизации всего технологического процесса;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

16



- сокращение числа технологических операций и оборудования для финишной обработки отливок;
  - использование недорогой и сравнительно простой оснастки;
- значительное улучшение условий труда.

### 2.3 Выбор положения отливки в форме в период заливки и затвердевания

При определении положения отливки в форме необходимо руководствоваться следующими правилами:

- модель в форме следует располагать таким образом, чтобы отношение поперечного сечения ее относительно движения металла при заливке к периметру в этом сечении было минимальным. Согласно этому положению, которое вытекает из напряженности газового режима литейной формы при ее заливке металлом, модель должна располагаться в форме вертикально относительно большего ее размера;
- тепловые узлы желательно располагать вверху, для установки прибылей прямого действия
- модель необходимо располагать таким образом, чтобы все отверстия или проемы, соединяющие внутренние закрытые или полузакрытые полости модели, находились в верхней ее части или располагались под углом, который должен быть больше угла внутреннего трения кварцевого песка или другого формовочного сыпучего материала, применяемого для изготовления формы.

Положение отливки в момент заливки и затвердевания показано на рисунке 2.2.

### 2.4 Определение поверхности разъема формы

При данном способе формовки отсутствует поверхность разъема формы, на чертеже детали указываются поверхности разъема пресс-формы для изготовления модели.

Разъем пресс-формы необходим для извлечения модели, после ее изготовления. От выбранного разъема зависит трудоемкость изготовления пресс-

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

17

формы, трудоемкость изготовления пенополистироловой модели и точность размеров модели.

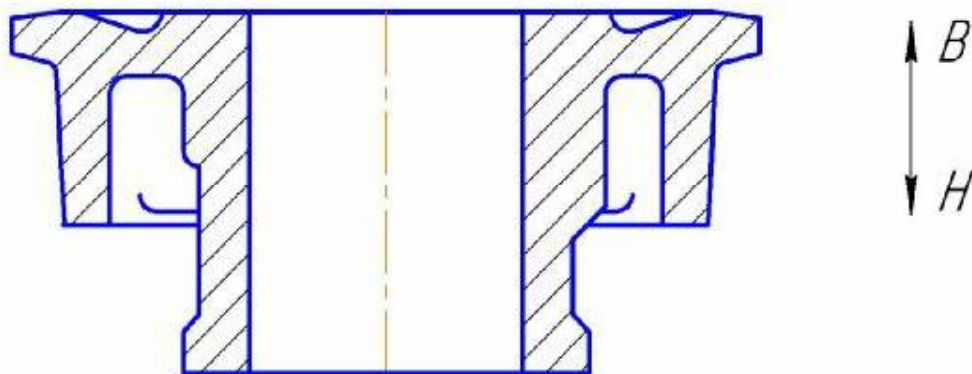


Рисунок 2.2 – Положение отливки в форме

При изготовлении данной модели пресс-форма имеет одну поверхность разъема. Модель в данном случае располагается в обеих половинах пресс-формы.

Выбранный разъем обеспечивает следующие технические решения:

- минимальное количество разъемов, обеспечивающих удобство и простоту изготовления модели;
- поверхность разъема является плоскостью;
- простая конструкция пресс-формы без отъемных частей;
- отсутствие металлических стержней в пресс-форме.

Разъем пресс-формы показан на рисунке 2.3.

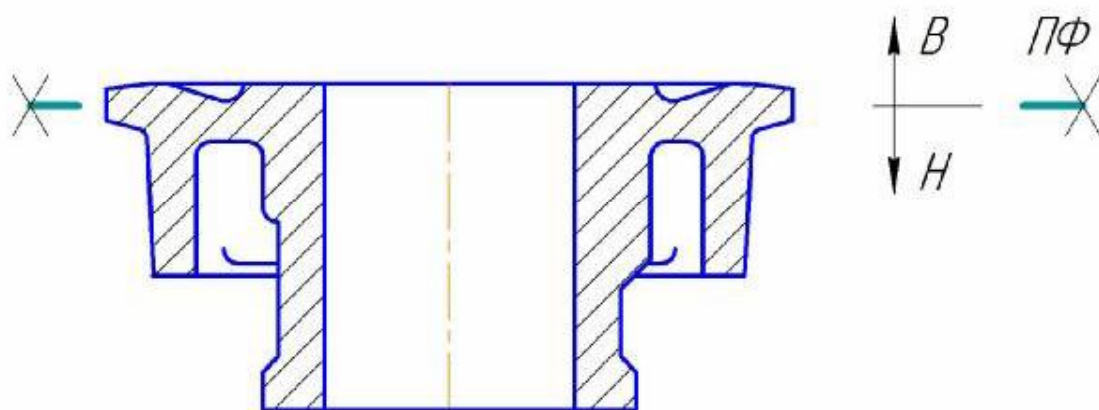


Рисунок 2.3 – Разъем пресс-формы

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист  
18

## 2.5 Определение припусков на механическую обработку

Для достижения заданных чертежом размеров и необходимого качества поверхности на обрабатываемых поверхностях назначаются припуски на механическую обработку. Размеры отливки отличаются от размеров детали на величину припусков на механическую обработку. Величина припусков назначается по ГОСТ Р53464-2009 в зависимости от класса точности отливки, степени коробления, её номинальных и габаритных размеров, способа литья и типа сплава.

Основные припуски на механическую обработку назначаются в зависимости от допусков размеров дифференцированно для каждого элемента отливки.

Точность отливки определяется по ГОСТ Р53464-2009 и включает класс размерной точности, класс точности массы и степень точности поверхности, которые назначаются в зависимости от технологического процесса литья, наибольшего габаритного размера отливки и типа сплава; степень коробления, зависящая от размеров отливки и типа формы. Точность отливки 10-9-9-10 ГОСТ Р53464-2009. Величины припусков приведены на чертеже детали с элементами литейной формы

## 2.6 Определение формовочных уклонов и радиусов закруглений

Для лёгкого извлечения модели из пресс-формы, на её рабочей поверхности задаются формовочные уклоны, они назначаются в соответствии с ГОСТ 3212-92 с уменьшением величины уклона в 2 раза. Желательно применять минусовые уклоны, если позволяет толщина тела отливки, с целью снижения ее массы. При использовании алюминиевых пресс-форм формовочные уклоны для данной отливки составляют 30'.

## 2.7 Разработка конструкции прибылей

Прибыли применяются для получения отливки с плотной структурой металла, характеризующейся отсутствием усадочных раковин и усадочной пористости. Прибыль составляет с отливкой общее литое тело, в процессе затвердевания

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

19

которого жидкий металл переходит из прибыли в отливку и заполняет образующиеся в ней усадочные пустоты. Процесс компенсации объемной усадки отливки за счет жидкого металла, поступающего из прибыли, называется питанием отливки. В результате питания отливка получается плотной, а прибыль с усадочной раковины.

Расчет прибылей приведен в специальной части проекта.

## 2.8 Разработка конструкции и расчет литниковой системы

При ЛГМ к литниковым системам наряду с общепринятыми требованиями при изготовлении отливок традиционными способами литья предъявляются дополнительные требования, которые обусловлены особенностями данной технологии. Одним из основных правил заливки формы металлом при ЛГМ является условие создания плоского фронта взаимодействия металла с моделью, способствующего постепенному замещению ее расплавом. Эти условия можно выполнить только при сифонном рассредоточенном подводе металла в полость формы. Это условие необходимо соблюдать при получении отливок в форме из песка.

При конструировании литниковой системы необходимо обеспечить отсутствие разряжения в ее элементах при заливке формы металлом. Процесс горения полистирола в полости литейной формы нежелателен, т. к. при этом значительно увеличивается выделение газообразных продуктов и сажистого углерода. Это приводит к появлению газовых раковин в отливках, а при литье стали – и к увеличению объемного науглероживания металла. При применении стояка из пенополистирола в формах из песка разряжение в стояке приводит к разрушению формы в зоне стояка и образованию песочных раковин в отливке или к полному обвалу формы в этой зоне и браку отливки.

Другим важным фактором является обеспечение оптимальной скорости заливки формы металлом, т. к. нарушение этого режима приводит к снижению

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

20

качества отливки, особенно из черных сплавов. При этом необходимо учитывать минимально допустимые скорости подъема металла в полости формы для получения отливок по извлекаемым моделям в песчано-глинистых формах, ниже которых в отливках получают спай, недоливы и другие дефекты.

При получении стальных отливок с толщиной более 40 мм оптимальная скорость подъема металла в форме составляет 15 мм/с.

Исходя из оптимальной скорости заливки  $V_{\text{опт}}$  определяется время заливки формы металлом по формуле [3]:

$$\tau_{\text{опт}} = \frac{C}{V_{\text{опт}}}, \quad (2.1)$$

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

$C$  – высота отливки по положению ее в форме при заливке;

$$\tau_{\text{опт}} = \frac{340}{15} = 22,66 \text{ с.}$$

Средний металлостатический напор в форме определяется по формуле [3]:

$$H_{\text{ср}} = H - \frac{P^2}{2 \cdot C}, \quad (2.2)$$

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

$C$  – высота отливки по положению в форме, мм;

$P$  – высота отливки над питателем, мм.

$$H_{\text{ср}} = 550 - \frac{370^2}{2 \cdot 340} = 348 \text{ мм} = 0,348 \text{ м.}$$

Суммарную площадь узкого сечения литниковой системы, обеспечивающей оптимальную продолжительность заливки формы, определим по формуле [3]:

$$F_{\text{уз}} = \frac{m}{\mu \cdot \tau_{\text{опт}} \cdot \rho \cdot \mu_{\text{г}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{ср}}}}, \quad (2.3)$$

где  $F_{\text{уз}}$  – суммарная площадь узкого сечения литниковой системы для одной отливки,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – масса жидкого металла, приходящегося на одну отливку литниками

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

21

прибылями, кг;

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

$\mu$  – коэффициент сопротивления течению металла в форме;

$\mu_r$  – коэффициент потерь расхода;

$\rho$  – плотность заливаемого расплава, кг/м<sup>3</sup>;

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

Определим суммарную площадь узкого сечения литниковой системы для одной отливки:

$$F_{\text{уз}} = \frac{153}{0,40 \cdot 7000 \cdot 22,67 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,348}} = 0,000766 \text{ м}^2 = 7,66 \text{ см}^2.$$

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

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

$$\Sigma F_{\text{п}} : \Sigma F_{\text{шл}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4, \quad (2.4)$$

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

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

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

В блоке располагаются 2 отливки, эскиз модельного блока представлен на рисунке 2.4.

$$\Sigma F_{\text{п}} = 7,66 \text{ см}^2;$$

$$\Sigma F_{\text{шл}} = 1,2 \Sigma F_{\text{п}} = 1,2 \times 7,66 = 9,2 \text{ см}^2;$$

$$\Sigma F_{\text{ст}} = 1,4 \Sigma F_{\text{п}} = 1,4 \times 7,66 = 10,7 \text{ см}^2;$$

Литниковую систему изготавливают из пенополистирольных плит, поэтому элементы литниковой системы квадратные в сечении. Размер стояка увеличиваем до ближайшего стандартного 40x40 мм для облегчения изготовления.

Эскиз сечений литниковой системы представлен на рисунке 2.5.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

22

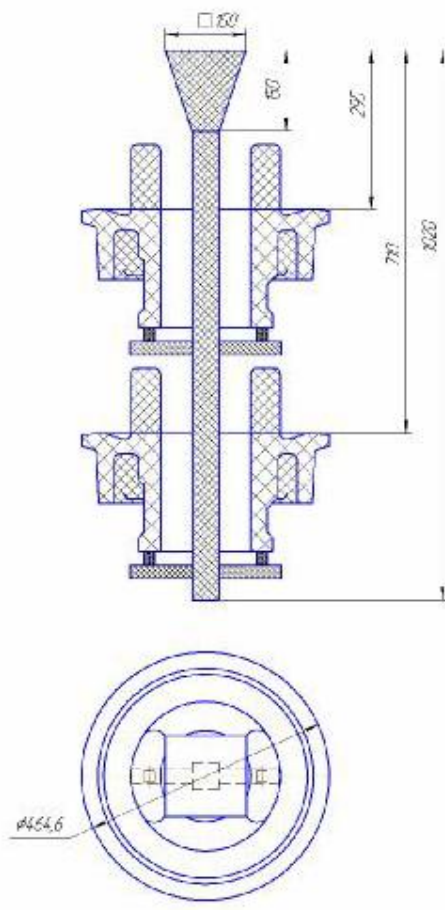
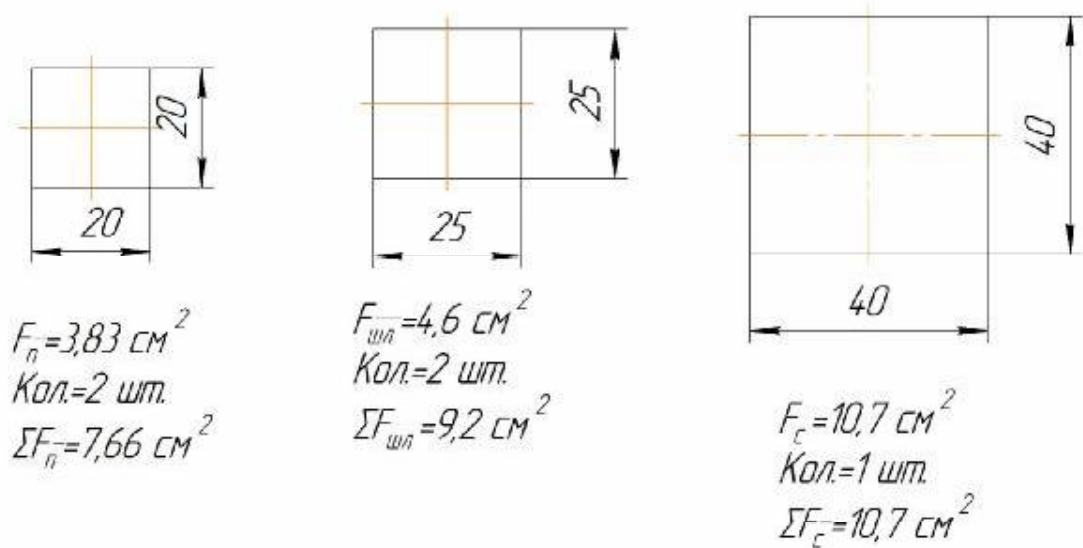


Рисунок 2.4 – Эскиз модельного блока



А-сечение питателя; Б-сечение шлакоуловителя; В-сечение стояка

Рисунок 2.5 – Эскиз сечений литниковой системы

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

Лист

23

## 2.9 Определение литейной усадки отливки

Усадка отливки (изменение объема и линейных размеров) происходит на всех стадиях формирования отливки из жидкого металла. Она оказывает влияние на образование усадочных раковин и пористости, литейных напряжений, горячих и холодных трещин, на размерную и весовую точность отливки, ее герметичность и плотность. Усадочные процессы, протекающие при формировании отливки, определяются химическим составом металла, температурой его перегрева над линией ликвидуса, фазовыми переходами в жидком и твердом состояниях, наличием примесей в металле и скоростью отвода тепла, как при кристаллизации расплава, так и при дальнейшем его охлаждении в форме.

Литейная усадка для данной отливки составляет 2 %, однако при изготовлении пресс-формы необходимо учесть дополнительно усадку модели из пенополистирола при ее изготовлении. Общая усадка при проектировании пресс-формы составляет 2,5 %.

## 2.10 Определение состава шихты и технология плавки сплава

Расчет шихты производится исходя из требуемого химического состава сплава с учетом фактически используемых шихтовых материалов и применяемых плавильных агрегатов. Фактические расходы шихтовых материалов в значительной степени зависят от возможности снабжения и колеблются как по виду материала, так и по их соотношения. Потребность цеха в металлошихте будет больше, чем потребность в жидком металле на величину угара сплава и величину безвозвратных потерь, которые имеют место в процессе плавки и выпуска металла из печи. Угар металла зависит от многих факторов: типа применяемого плавильного агрегата, вида получаемого сплава, характера используемой шихты, ее загрязненности, окисленности, развитости поверхности, атмосферы печи, удельной нагрузки на под и других. Безвозвратные потери при выпуске и плавке зависят от технологии плавки и метода выпуска ее. Сюда входят потери металла со скачиваемым шлаком и корольками в конечном шлаке, потери в виде брызг и

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

24



настылей на ковше.

Целесообразно вести расчёт на 100 кг шихты, тогда масса компонентов в килограммах и их процентные соотношения численно совпадут, что упрощает расчёт. Составление и расчет шихты производится, исходя из требуемого химического состава выплавляемого сплава и имеющихся шихтовых материалов (таблица 2.1).

Химический состав стали 30Л: С-0,27...0,35%; Мn – 0,4...0,9%; Si – 0,2...0,52%. Среднее содержание марганца 0,65 %; кремния – 0,36 %. Требуемая масса углерода рассчитывается по формуле:

$$m_c = C_c + 0,2...0,3\% \quad (2.5)$$

$$M_c = 0,31 + 0,25 = 0,56 \text{ кг (или 0,56 \%)}.$$

Масса ферромарганца и ферросилиция рассчитывается по формуле:

$$m_j = \frac{MC_j(1 + Y_i)}{I_{ij}} \quad (2.6)$$

где  $C_i$  – среднее содержание  $i^{\text{го}}$  элемента (в данном случае Мn и Si) в стали, %;

$Y_i$  – угар  $i^{\text{го}}$  элемента в долях единицы;

$I_{ij}$  – содержание  $i^{\text{го}}$  элемента в  $j^{\text{ом}}$  компоненте;

$$m_{\text{ФMn}} = \frac{100 \cdot 0,65(1 + 0,1)}{65} = 1,058 \text{ кг};$$

$$m_{\text{ФC}} = \frac{100 \cdot 0,36(1 + 0,15)}{65} = 0,630 \text{ кг}.$$

В балансе выплавляемой стали возврат ( $X_1$ ) составляет 43 %.

Массы лома ( $X_2$ ) и чугуна ( $X_3$ ) рассчитываются из уравнений, составленных на основе баланса металла и углерода:

$$X_2 + X_3 = 100 - \sum_{j=1}^k m_j \quad (2.7)$$

$$C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 = 100m_c - \sum_{j=1}^k C_{Cj} \cdot m_j$$

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

25

где  $X_1$  и  $X_3$  – массовая доля, % соответственно лома и чугуна;

$C_{sj}$  – массовая доля углерода в  $j^{\text{ом}}$  компоненте, %.

Таблица 2.1 – Компоненты шихты для стали 30Л, выплавляемой в дуговой печи

| Компонент   | Обозначение $X_j$ | Массовая доля элементов, % |       |      |       |       | $X_j$ , % * |
|---|-------------------|----------------------------|-------|------|-------|-------|-------------|
|   |                   | C                          | Mn    | Si   | S     | P     |             |
| Возврат   | $X_1$             | 0,26                       | 0,625 | 0,38 | 0,05  | 0,05  | 43,000      |
| Лом стальной 2А<br>ГОСТ 2787-86                       | $X_2$             | 0,11                       | 0,62  | 0,32 | 0,03  | 0,025 | 47,542      |
| Чугун<br>передельный ПЛ1<br>кл А кат.2 ГОСТ<br>805-80 | $X_3$             | 4,14                       | 0,85  | 0,85 | 0,016 | 0,018 | 7,770       |
| Ферромарганец<br>ФМп 75А<br>ГОСТ 4755-91              | $X_4$             | 7                          | 68    | 6,0  | 0,02  | 0,03  | 1,058       |
| Ферросилиций<br>ФС75 А2,5<br>ГОСТ 1415-78             | $X_5$             | 0,01                       | 0,4   | 75   | 0,020 | 0,04  | 0,63        |

$$1) \begin{cases} X_2 + X_3 = 100 - 0,63 - 1,058 - 43 \\ 0,11X_2 + 4,14X_3 = 100 \cdot 0,56 - 0,63 \cdot 0,01 - 1,058 \cdot 7,0 - 43 \cdot 0,26 \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} X_2 + X_3 = 55,312 \\ 0,11X_2 + 4,14X_3 = 37,408 \end{cases}$$

Из уравнения (1) выражаем  $X_2$ :

$$X_2 = 55,312 - X_3$$

Подставляем уравнение (1) в уравнение (2):

$$0,11(55,312 - X_3) + 4,14X_3 = 37,408$$

$$X_3 = \frac{31,324}{4,03} = 7,770$$

Подставляем полученное значение  $X_3$  в уравнение (1)

$$X_2 = 55,312 - X_3 = 55,312 - 7,77 = 47,542$$

Проверка ограничений по сере и фосфору проводится по формулам:

$$S\% = \frac{\sum_{j=1}^K m_j \cdot C_{sj}}{M} \leq [S\%] \quad (2.8)$$

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

26

$$P\% = \frac{\sum_{j=1}^K m_j \cdot C_{sj}}{M} \leq [P\%], \quad (2.9)$$

где [S%] и [P%] – предельные содержания, соответственно серы и фосфора по ГОСТ 977-88.

$$S\% = \frac{43,0 \cdot 0,05 + 47,542 \cdot 0,03 + 7,77 \cdot 0,016 + 1,058 \cdot 0,02 + 0,63 \cdot 0,029}{100} = 0,037\% < [0,06];$$

$$P\% = \frac{43,0 \cdot 0,05 + 47,542 \cdot 0,025 + 7,77 \cdot 0,018 + 1,058 \cdot 0,03 + 0,63 \cdot 0,04}{100} = 0,034 < [0,06].$$

Выбор плавильного оборудования обуславливается металлургическими возможностями обеспечения заданного качества выплавляемого сплава, наличием необходимых шихтовых материалов и энергетических ресурсов, условиями труда обслуживающего персонала, защиты окружающей среды от газовыделений и отходов плавки, а также эффективностью производства.

Для получения жидкой стали применяется индукционная тигельная печь MFT St 500 фирмы OTTO JUNKER [4].

Техническая характеристика MFT St 500:

- мощность по трансформатору, кВА 500;
- производительность, т/ч 0,5;
- номинальная емкость, т 0,5;
- температура перегрева металла, °C 1650;
- габариты печи: д×ш×в, мм 2200×2200×3500.

Преимуществам печи:

- высокая мощность плавления;
- эластичность управления;
- легкая смена сплава;
- короткое время запуска, быстрая последовательность нагрева;
- приспособляемость к особым требованиям техпроцесса;
- большая эффективность в расходе энергии;
- компактная конструкция;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

27

- снижение трудоемкости путем автоматизации процесса плавки;
- предварительно собранные модули, сокращающие время монтажа печи.

Эскиз печи приведен на рисунке 2.6.

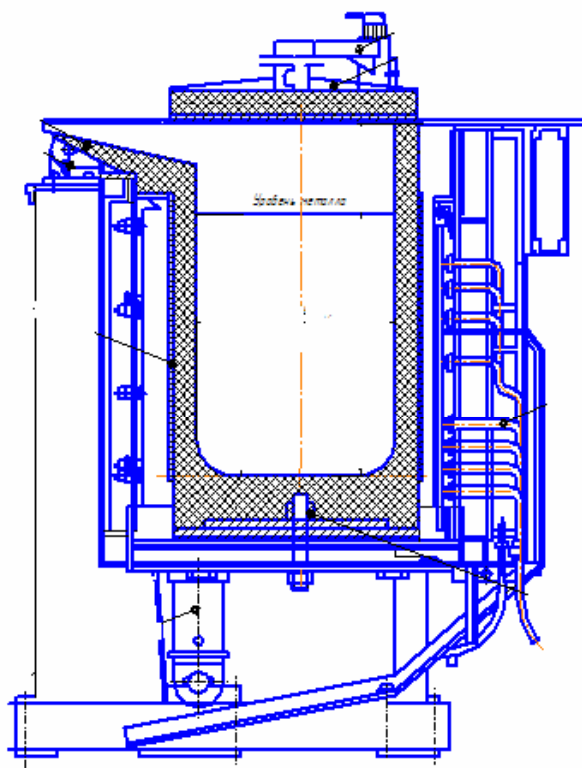


Рисунок 2.6 – Эскиз печи

Перед плавкой тщательно осмотреть и очистить тигель от шлака и металла предыдущей плавки. Поврежденные участки тигля исправить набивной массой, при необходимости желоб и воротник подмазать магнезитом, смоченной жидким стеклом. Взвесить все необходимые материалы, согласно шихтовке на марку стали. Загрузку металлической части шихты осуществлять в следующем порядке: на дно тигля мелкий лом, затем вся порция стального лома и передельного чугуна, далее возврат собственного производства. При загрузке крупные куски размещать вертикально вдоль стенок тигля, а мелочью заполнить середину. Шихту укладывать как можно плотнее. По мере расплавления и осаждения шихты подгружать в печь оставшуюся порцию лома.

После полного расплавления шихты металл нагревают до температуры 1560...1580 °С, снять шлак, взять пробу для экспресс-анализа на содержание С,

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

28

Mn, Si, P, S. Корректировка химического состава выполняется при получении неудовлетворительных результатов экспресс анализа. Доводку металла производят при температуре 1580...1600 °С. Выпуск металла производят только в хорошо нагретый ковш. Печь отключают и начинают выпуск металла. Температуры выпуска должна находиться в пределах 1660...1680 °С. Для изменения температуры применяется оптический пирометр. Его работа основана на оценке интенсивности излучения нагретых тел. Температура жидкого металла определяется сравнением яркости излучаемых им красных лучей с яркостью красного излучения нити эталонной лампочки накаливания, находящейся в пирометре. По окончании выпуска металла печь устанавливают в исходное положение, ковш подвешивают к шлаковне, засыпают зеркало металла флюсом и скачивают шлак. Ковш передают на участок заливки форм, после заливки остатки металла сливают в изложницу. Для заливки применяют чайниковый ковш. Эскиз ковша приведен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7– Эскиз ковша

### 2.11 Разработка технологии изготовления моделей

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

29

В серийном производстве модели изготавливаются из вспененного полистирола в две стадии. На первой стадии гранулы исходного полистирола вспениваются до заданной насыпной массы и выдерживаются в течение определенного времени для созревания. На второй стадии осуществляется нагрев вспененных гранул в замкнутом объеме пресс-формы, в результате которого происходит формирование модели с заданными технологическими и механическими свойствами. Однако, как первая, так и вторая стадия технологического процесса изготовления модели включает в себя целый ряд операций, каждая из которых оказывает существенное влияние на формирование модели надлежащего качества. Весь технологический процесс изготовления моделей можно разделить на два этапа: предварительная переработка суспензионного полистирола и изготовление моделей в пресс-формах [5].

Предварительная переработка гранул полистирола для вспенивания является важной составной частью технологического процесса изготовления моделей и включает следующие операции: классификация гранулометрического состава, вспенивание гранул, сушка и активизация вспененных гранул. Каждая из этих операций существенно влияет на получение моделей с заданными эксплуатационными свойствами. Качество моделей зависит от первичных (молекулярной массы, количества порообразователя и остаточного стирола, наличия влаги и размера гранул) и вторичных (размера вспененных гранул, их активности, слипаемости, влажности) свойств вспененных гранул.

С одной стороны, модель должна иметь необходимую технологическую прочность, чтобы при выполнении операций транспортировки, сборки моделей, покраски модельных блоков, их сушки и формовки не происходило нарушение геометрических параметров модели. С другой – при заливке формы металлом модель не должна существенно влиять на заполняемость формы, при этом должно выделяться минимальное количество продуктов термодеструкции полистирола, которые оказывают влияние не только на формирование отливки, но и на окружающую среду.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

30

В первом случае модель должна иметь повышенную объемную массу, во втором – минимально допустимую. Получение моделей с заданной, технологически необходимой объемной массой и является главной задачей их производства. Многочисленными исследованиями и практикой установлено, что при вспенивании гранул полистирола различных партий одного и того же производителя при одинаковых режимах можно получать модели из пенополистирола с объемной массой, величина которой колеблется в значительных пределах.

Поэтому необходимо контролировать свойства исходного полистирола и экспериментально определять технологические параметры первичной его переработки для получения качественных моделей. Гранулометрический состав исходного полистирола определяется в зависимости от толщины стенки модели, так как вспененные гранулы должны не только заполнить полость пресс-формы, но и обеспечить необходимую объемную массу и качество ее поверхности. В таблице 2.2 представлены рекомендации по выбору размера исходных гранул полистирола в зависимости от толщины стенки модели.

Таблица 2.2 – Соотношение размера гранул и толщины стенки отливки

| Толщина стенки модели, мм | Размер гранул, мм | Объемная масса модели, кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------------|-------------------|--|
| Более 14                  | 1,2...1,8         | 13...30                                  |
| 10...14                   | 1,1...1,3         | 15...40                                  |

Для получения гранул необходимой насыпной массы используются различные способы внешнего воздействия на гранулы в процессе их вспенивания. Для получения качественных моделей регламентируется их объемная плотность в пределах 16...24 кг/м<sup>3</sup>. Для получения моделей с такой плотностью используются вспенивание паром в вакууме, что обеспечивает снижение насыпной плотности гранул до 16...20 кг/м<sup>3</sup>. Модели из таких гранул применяют для получения отливок из стали.

После вспенивания гранулы полистирола подвергаются сушке и активации. Сушка осуществляется или в потоке теплого воздуха при температуре 25...30 °С. Процесс активации гранул связан с изменением агрегатного состояния порообразователя и диффузионными процессами, протекающими в объеме гранул

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

31

после их вспенивания. При охлаждении гранул порообразователь конденсируется, вследствие чего в порах гранул образуется вакуум, который заполняется воздухом; в результате возрастает способность гранул к повторному расширению, которое обеспечивает их спекание при повторном нагреве в замкнутом объеме пресс-формы. Процесс активации гранул протекает во времени при взаимной диффузии воздуха вовнутрь гранул и паров порообразователя из гранул. Первоначально процесс диффузии воздуха превалирует над процессом обратной диффузии порообразователя из гранул, однако по мере заполнения вакуума эти процессы сначала взаимно уравниваются, а затем начинает превалировать процесс диффузии порообразователя. Процесс активации гранул продолжается от 2 до 12 ч, после чего в течение 12 ч пенополистирол сохраняет свою активность, а затем она начинает падать.

Производство моделей основано на процессе вторичной тепловой обработки гранул в замкнутом объеме пресс-формы. Технологический процесс изготовления моделей состоит из следующих операций: подготовка гранул пенополистирола, подготовка пресс-формы, заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола, тепловая обработка пресс-формы, охлаждение пресс-формы, извлечение модели из пресс-формы, сушка модели, выдержка модели после сушки и контроль качества модели.

Заполнение пресс-формы гранулами пенополистирола является операцией, влияющей непосредственно на качество модели. Пресс-формы заполняются гранулами путем эжектирования их сжатым воздухом при помощи специального устройства. На процесс заполнения пресс-формы гранулами оказывают влияние давление воздуха, подводимого к эжектору, и наличие отверстий (вент) в пресс-форме или щели по ее разьему для выхода отработанного воздуха. Для удаления воздуха из пресс-формы в ее стенках устанавливаются венты или делаются отверстия диаметром 0,5...1,0 мм. На модельных автоматах кроме перфорации пресс-формы применяется ее вакуумирование при заполнении пресс-формы гранулами. Под действием сжатого воздуха происходит деформация гранул в пресс-форме за счет сил фильтрации, величина которых пропорциональна разности

|     |      |         |       |      |
|-----|------|---------|-------|------|
|     |      |         |       |      |
| Изм | Лист | № докм. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

32



давлений на входе и выходе воздуха из пресс-формы. Обычно давление воздуха, подаваемого к задувному устройству, составляет 0,3...0,5 МПа, но при этом необходимо учитывать, что чем выше давление воздуха, тем плотнее получаются модели при одной и той же насыпной плотности гранул пенополистирола.

Для производства модели применяем полистирол марки ПСВ-Л1.

Свойства полистирола ПСВ-Л1:

- внешний вид – полупрозрачные;
- содержание остаточного мономера, %, не менее – 0,3;
- содержание порообразователя, %, не менее – 5,5...6,6;
- относительная вязкость в 1,0% растворе бензола, не менее – 1,8;
- насыпная масса вспененных гранул, г/л, не более – 20;
- слипаемость гранул по классам 0, 1, 2, 3 – 0-1;
- скорость газификации при тепловом ударе (900 °С), г/с, не менее –  $9,0 \cdot 10^{-3}$ ;
- скорость плавления при тепловом ударе (900 °С), см/с, не менее – 2;
- содержание активного кислорода, %, не менее – 0,03.

Перед началом работы в автоматическом режиме производится прогрев автоклава в режиме «Нагрев» и заполнение дозатора полистиролом из бункера. После нажатия кнопки «Пуск» в автоматическом режиме в автоклав подается пар, и по достижении заданной температуры в камеру автоклава всасывается порция полистирола. По истечении времени пропаривания подача пара прекращается и осуществляется слив конденсата. Затем последовательно производится вакуумирование автоклава для удаления переувлажненного, насыщенного парами пентана, горячего воздуха и открывается дно автоклава, включается продувка сжатым воздухом, и пенополистирол высыпается в камеру сушки. Дно автоклава закрывается, и цикл автоматически возобновляется. Сушка пенополистирола в камере осуществляется в кипящем слое, дробление комьев гранул в измельчителе и выгрузка из него. Температура подогрева воздуха, подаваемого в камеру сушки, должна быть в пределах 40...50 °С.

Техническая характеристика вспенивателя модели ZY-2000-ZD:

- диаметр камеры всасывания, мм 400;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

33

- высота камеры, мм 1000;
- объем камеры, м<sup>3</sup> 0,28;
- производительность, кг/ч 3;
- температура пара, °С 115;
- установленная мощность, кВт 8,6;
- производительность при плотности пенополистирола 18...24 г/л, кг/ч 5...8;
- габариты установки: д×ш×в, мм 2000×1000×1500.

Для изготовления моделей применяется термопластавтомат СХ-С-0908.

Техническая характеристика вспенивателя модели СХ-С-0908:

- размер поверхности плит, мм 600×400;
- ход основной подвижной плиты, мм 480;
- ход боковых плит, мм 500;
- производительность, цикл/час 12.
- габариты установки: д×ш×в, мм 1200×1000×1500.

Качество модели определяется шероховатостью ее поверхности, размерной точностью, равномерностью структуры пенополистирола, ее объемной плотностью и механической прочностью.

## 2.12 Проектирование пресс-формы

Для изготовления пресс-форм применяются различные конструкционные материалы, которые имеют хорошую теплопроводность, высокую коррозионную стойкость в атмосфере пара и в воде, достаточную механическую прочность и хорошо обрабатываются режущим инструментом. При изготовлении моделей ванным способом, тепловым ударом и в автоклаве пресс-формы изготавливаются, из алюминиевых сплавов. Чтобы получить качественные модели, применяют для изготовления рабочих частей пресс-формы прокат из алюминиевого сплава марки АМг5, который имеет достаточную прочность, высокую плотность и хорошо обрабатываются режущим инструментом. Крепежная часть пресс-формы и

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

34

запирающие устройства выполняются из нержавеющей стали марки 30X12H9T, соединительные втулки изготавливаются из бронзы, венты – из алюминиевых сплавов,

### 2.13 Разработка технологии изготовления и заливки форм

Для изготовления литейной формы при ЛГМ используются несвязанные сухие сыпучие материалы (кварцевый песок). Изготовление литейной формы из несвязанных огнеупорных сыпучих материалов стало возможным только благодаря применению газифицируемой модели и является принципиально новым технологическим процессом формообразования.

Промышленному применению технологии производства отливок по газифицируемым моделям в формах из песка предшествовали многочисленные научно-исследовательские и экспериментальные работы, проведение которых было обусловлено, с одной стороны, новизной технологии, с другой — повышенным браком литья из-за обрушения формы в процессе заливки ее металлом. Первое теоретическое обоснование процесса литья в формах из песка было сделано в 1964 году американским исследователем Г. Диттером, который разработал физическую модель процесса.

Формовка – это засыпка моделей в опоках кварцевым песком с использованием вибростола. Под воздействием горизонтальной и вертикальной вибрации песок становится текучим и заполняет собой все каналы и полости модели. Формовка является важнейшей операцией для обеспечения качества будущей отливки. Важно, чтобы песком были заполнены все каналы и полости будущих отливок, иначе расплав прорвет антипригарное покрытие и уйдёт в песок. После вакуумирования опоки песок приобретает необходимую прочность. Можно приступать к заливке.

Образующиеся при заливке металла газы из контейнера отсасывают насосом – разрежение поддерживают примерно на уровне 0,5 атм, одновременно это разрежение уплотняет и удерживает в неподвижном состоянии песок в процессе

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

35

замещения модели металлом. Затем газы через трубу вакуумной системы подают для утилизации и обезвреживания в систему термokatалитического дожигания. Там они окисляются примерно на 98%, и в виде водяного пара и двуокиси углерода выбрасываются в атмосферу за пределами помещения цеха. Традиционные формы со связующим после заливки металлом дымят в помещении, как ни вентилируй рабочую зону цеха, а удаление газов из сухого песка насосом в 10...12 раз снижает показатели загрязнений воздуха рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные формы согласно проведенным измерениям концентраций примесей в воздухе цеха.

Формовочный кварцевый песок после извлечения остывшей отливки из формы благодаря его высокой текучести обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключая распыление его в цехе. Примерно треть его поступает в установку терморегенерации, где он освобождается от остатков конденсированных продуктов деструкции пенополистирола, а затем, смешиваясь с остальной частью, после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается опять на формовку. В результате потери обратного песка не превышают нескольких процентов — это просыпи, унос с отсасываемыми газами и т.п.

Установка литья по газифицируемым моделям выполняет технологические операции для получения литых заготовок с помощью моделей из пенополистирола (ППС). На рисунке 2.8 представлена схема линии ЛГМ.

Технологический процесс:

- формовка моделей ППС с уплотнением песка вибрацией;
- перемещение опок на позицию заливки и выбивки;
- заливка жидкого металла;
- выбивка заготовки опрокидыванием опок;
- охлаждение песка и транспортировка его в формовочный бункер.

Технологические параметры линии ЛГМ:

- размер опок, мм 1200x1000x1100;
- производительность, форм/час 2.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

36

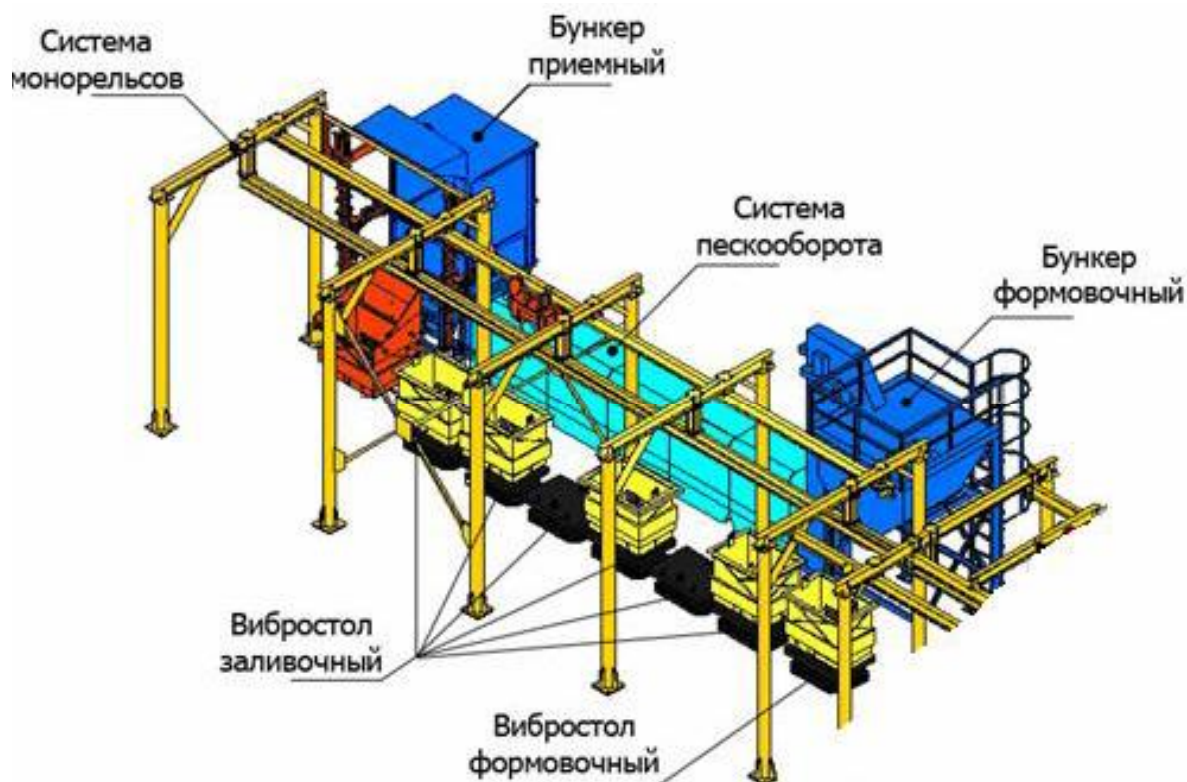


Рисунок 2.8 – Схема линии ЛГМ

В серийном производстве применяются формы из сыпучих огнеупорных материалов, к которым предъявляются следующие требования:

- формовочный материал должен обладать хорошей текучестью, обеспечивать заполнение отверстий и внутренних полостей модели при вибрации;
- гранулометрический состав сыпучего огнеупорного материала должен после вибрации обеспечить максимальную плотность формы при минимальной пористости и высокую газопроницаемость;
- материал должен обладать минимальным пылеобразованием в процессе формовки и последующей регенерации, содержание фракций размером менее 0,05 не допускается;
- влажность материала не должна быть более 1,0 %;
- огнеупорность материала должна быть выше температуры заливаемого в форму металла;
- материал должен быть недефицитным и недорогим;
- материал не должен оказывать вредного влияния на здоровье человека.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

37

Вышеперечисленным требованиям в большей степени удовлетворяет кварцевый песок.

При производстве отливок из стали применяют цирконовые пески, которые обладают высокой огнеупорностью (до 2000 °С), низким коэффициентом теплового расширения и более высокой по сравнению с кварцевым песком теплопроводностью.

Применяется метод формовки с предварительной сборкой модельного блока. При данном способе модель с литниковой системой, включая стояк и литниковую чашу, собирается непосредственно перед формовкой по системе шип - отверстие.

Для получения качественных отливок поднутрения модели и труднодоступные места заполняют специальной холоднотвердеющей смесью, так как в этих местах возможна недостаточная уплотненность формы при обычной формовке. Модель литниковой системы - коллектор устанавливается в приспособление (кондуктор), затем модель коллектора стыкуется с моделью отливки и стояком из керамики или пенополистирола, выполненным совместно с литниковой воронкой. Опока предварительно засыпается на определенную высоту, обычно на 100...150 мм, песком, который уплотняется вибрацией.

На подготовленную постель манипулятором или вручную устанавливается собранный блок, и опока засыпается до верхнего уровня моделей песком, после чего без прекращения подачи песка включается вибрация опоки, которая продолжается до заполнения ее песком и его уплотнения. Фиксация блока осуществляется манипулятором. Во время заливки форму вакуумируют.

Применение вакуума существенно влияет на процесс ЛГМ: повышается сопротивление формы из песка сдвигу, что расширяет возможности ЛГМ для получения более крупных отливок в формах из песка; удаляются продукты термодеструкции модели при заливке формы металлом, что улучшает санитарно-гигиенические условия труда в цехе.

#### 2.14 Разработка технологии выбивки обрубки, очистки и окраски отливок

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

38

В термообрубном отделении выполняются следующие операции: очистка отливок от остатков смеси и стержней, отделения литников, термообработка (если предусмотрена технологически процессом), заварка дефектов, зачистка отливок.

Отливки, поступающие из формовочного отделения, зачищают вручную, затем отливки помещают в термопечь, после термообработки – в дробеметный барабан.

Дробеметный барабан непрерывного действия предназначен для удаления остатков формовочной смеси, ржавчины, изменение внешнего вида поверхности, деталей сложной формы весом от 5 кг до 300 кг или более, изготавливаемых большими партиями.

Технические характеристики дробеметного барабана непрерывного действия 42202 фирмы «Амурлитмаш» [6]:

- высота, мм 4300;
- ширина, мм 2000;
- длина, мм 2000;
- производительность, т/ч 0,6.

Для термообработки применяются печи электрические камерные с выкатным подом, просты по конструкции, универсальны для различных изделий и технологических процессов, позволяют широко варьировать режимы термообработки.

Режим термической обработки (нормализация с последующим отпуском) представлен на рисунке 2.9.

Нормализация – нагрев 75...100 °С в час, выдержка при температуре 860...880 °С в течении 2 часов и последующее охлаждение на воздухе. Нормализация применяется для повышения прочности литья.

Отпуск – нагрев 75...100 °С в час, выдержка при температуре 600...630 °С в течении 1 часов и последующее охлаждение на воздухе. Отпуск применяется для снятия внутренних напряжений после нормализации.

Технические характеристики печи СНО-4.8.4/10И1 фирмы «Электропечь» [7]:

- размеры рабочей камеры, мм 400x800 x400;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

39

- размеры печи, мм 1915x1481 x1615;
- мощность, кВт 30;
- производительность, т/час 0,4.

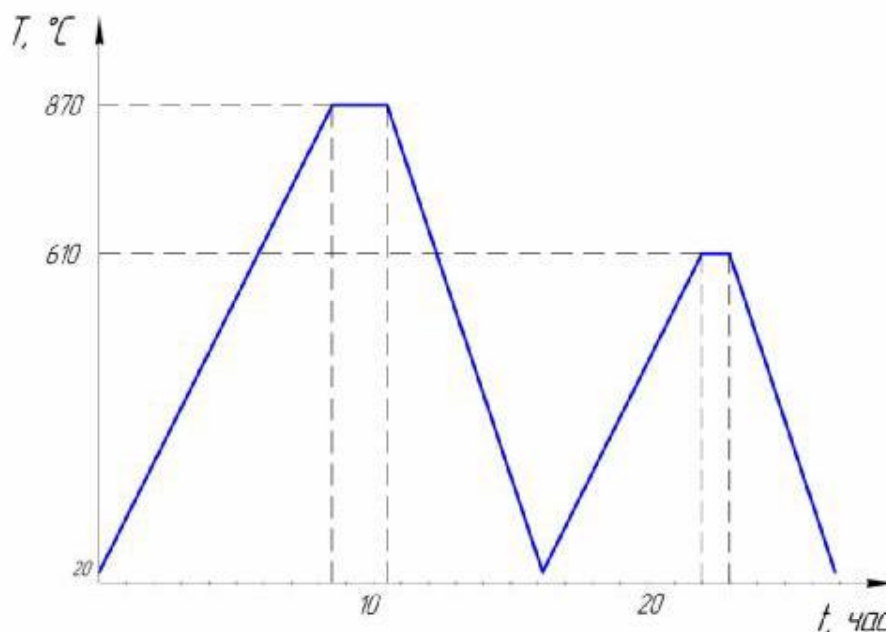


Рисунок 2.9 – Режим термической обработки

## 2.15 Разработка системы контроля техпроцесса и качества отливок

Правильно разработанный технологический процесс и четкое исполнение разработанной и утвержденной технологии обеспечивает хорошее качество отливок.

В литейном цехе должен быть хорошо организован контроль за соблюдением технологического процесса и качеством готовых отливок.

Приемка отливок производится в соответствии с технологическими условиями, принятыми литейным цехом и согласованными с механосборочным цехом. В технических условиях указываются химический состав и механические свойства отливок, допуск на размеры и припуск на механическую обработку, а также требования к внешнему виду.

Поверхность отливок, как правило, не должна иметь трещин, неслитин, сквозных раковин и рыхлот. Литники на обрабатываемые поверхности должны зачищаться заподлицо с поверхностью отливок.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

40



В цеховой или заводской лаборатории проверку состава сплава производят методами химического или спектрального анализа. Химическому анализу подвергаются расплавы всех плавков. Проверяют основные элементы сплава и количество вредных примесей. Спектральный анализ получил в последнее время большое распространение для определения химического состава сплава. Основан он на рассмотрении спектра лучей, излучаемых при воздействии люгового разряда на поверхность материала. По спектру определяется качественный и количественный состав сплава. Преимущество спектрального анализа перед химическим состоит в быстроте, высокой точности даже при малой концентрации в сплаве определенного элемента, универсальности и возможности определить химический состав без повреждения отливки.

Внешний осмотр отливок производят два раза. Первый, предварительный осмотр делают сразу же после выталкивания отливки из пресс-формы, что позволяет выявить причины литейных дефектов на поверхности и наметить меры устранения брака. Второй осмотр проводят после окончательной очистки отливок от литников и облоя. Чистоту поверхности отливок оценивают визуально, сравнивая их с эталоном. Отливки, имеющие дефекты, сравнивают с допустимыми дефектами утвержденных эталонов или описанными в технических условиях.

Геометрические размеры проверяют по литейному чертежу, на котором указаны только те размеры, которые следует проверять в литейном цехе. Проводят два вида контроля: периодический контроль всех размеров отливки и постоянный контроль колеблющихся размеров. Все размеры отливок проверяются при освоении новой пресс-формы после ее изготовления и доводки. В этом случае все отливки нескольких партий обмеряют, результаты сверяют с размерами чертежа; чтобы получить точные размеры ребер и стенок, отливки разрезают на части. При длительной работе пресс-формы размеры оформляющей полости изнашиваются, поэтому периодически производят контроль-размеров отливок.

Механические испытания отливок проводят для определения прочности, пластичности сплавов. Мерой прочности служит также твердость металла. Прочность – свойство сплава сопротивляться разрушению под воздействием

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

41

внешних сил. Пластичность – способность сплава не разрушаться при значительных остаточных деформациях. Мерой пластичности служит относительное удлинение сплава перед разрушением его при испытании на прочность растяжением. Прочностные и пластические характеристики сплавов контролируют на испытательных машинах. Свойства сплавов воспринимать ударные нагрузки определяют разрушением образцов на специальном маятниковом копре. Твердость – свойство сплава сопротивляться внедрению в него другого тела. Твердость сплава в литом состоянии определяют на прессе Бринелля вдавливанием в отливку стального закаленного шарика. Мерой твердости сплава является величина нагрузки отнесенная к площади отпечатка от шарика.

Металлографический анализ отливок проводят для установления структуры металла, для контроля распределения в металле различных кристаллических фаз, проверки наличия неметаллических включений, пор и т. д. Для анализа готовят образцы со шлифованной или полированной поверхностью. Макроанализ проводят изучением поверхности шлифа невооруженным глазом или при небольшом увеличении. Микроанализ проводят при большом увеличении, используя оптические, а также в отдельных случаях и электронные микроскопы.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

42

### 3 ВНУТРИПРИБЫЛЬНЫЙ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЙ РАЗОГРЕВ

Одной из важнейших задач литейного производства является максимальное приближение отливки по массе и размерам к готовой детали, что в целом характеризует КИМ.

$$\text{КИМ} = \frac{m_g}{m_o}, \quad (3.1)$$

где  $m_g$  – масса готовой детали, кг;

$m_o$  – масса отливки, кг.

Улучшение питания всегда проявляется также в повышении важнейшего показателя качества технологической разработки – технологического выхода годного (ТВГ), который для машиностроительных отливок из стали в основном составляет 50...60 %, а иногда снижается до 30 % в период освоения новой нетехнологичной конструкции заготовки. Высокие показатели КИМ и ТВГ свидетельствуют о качественном технологическом процессе литья.

ТВГ рассчитывается по формуле:

$$\text{ТВГ} = \frac{m_o}{m_o + m_{л} + m_{п}} \cdot 100, \% \quad (3.2)$$

где  $m_{л}$  – масса литниковой системы, кг;

$m_{п}$  – масса прибылей, кг.

Существуют факторы, которые заметно влияют на эффективность действия прибылей в порядке усложнения технологического процесса изготовления отливок. Каждому уровню ТВГ соответствует определенный комплекс технологических приемов, которые улучшают технологические параметры питания отливок. Они влияют на эффективность использования металла и качество отливок через улучшение трех параметров питания отливок:

- создают условия для сохранения жидкого состояния металла в прибылях до конца затвердевания отливки (питаемого узла) –  $\tau_{пр}/\tau_o=1,1...1,2$ , где  $\tau_{пр}$  и  $\tau_o$

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

43

продолжительность затвердевания, соответственно, прибыли и отливки (питаемого узла);

- формируют направленность затвердевания от фронта кристаллизации отливки до прибыли или градиент температуры в этом направлении больше нуля ( $\text{grad}t > 0$ );
- обеспечивают положительный перепад давлений в прибылях и в затвердевающих объемах отливки.

В обосновании требований к свойствам экзосмеси в виде оболочек заложены в основном следующие принципы:

- низкая температура воспламенения;
- стабильное горение смеси с небольшой скоростью;
- хорошая тепловая изоляция.

Однако ряд факторов ограничило широкое применение такой технологии по следующим причинам:

- использование экзотермических смесей в виде оболочек, устанавливаемых на модель прибыли;
- неудовлетворительный тепловой КПД экзотермического процесса вследствие низкого содержания термита в смеси и больших потерь тепла в форму;
- недостаточная продолжительность горения и выделение тепла смесью;
- необходимость в использовании большого количества моделей для изготовления экзоболочек из-за большого разнообразия прибылей по размерам;
- необходимость хранения большого количества оболочек, разнообразных по конфигурации, размерам и массе.

Анализ технологических процессов в производстве отливок показывает, что в любых условиях при производстве даже самых технологичных конструкций обеспечивается технологический выход годного (ТВГ) на уровне 60 %.

В этом отношении перспективной является технология с применением экзотермических смесей.

Для развития технологии обогрева прибылей экзотермическими смесями необходимо было решить две важные задачи [8]:

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

44

- усовершенствовать состав и способ применения экзотермических вставок в производстве стального и чугунного литья для обеспечения качественной продукции при минимальных затратах экзотермических материалов;
- уточнить методику расчета экономической эффективности от уменьшения расхода жидкого металла на прибыли.

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) создает специфические условия работы экзотермических вставок из-за разрежения, образующегося в процессе вакуумирования опок, что уменьшает содержание в форме свободного кислорода, необходимого для горения, а также по причине образования восстановительной атмосферы из углеводородов в результате термодеструкции пенополистирольной модели при заливке металлического расплава.

В ходе исследований было установлено, что, к примеру, экзотермическая оболочка фирмы Fosco – ведущего производителя экзотермических смесей и оболочек для литейного производства в условиях безокислительной атмосферы не воспламеняется и не дает экзотермического эффекта. На рисунке 3.1 представлены сравнительные кривые дифференциального термического анализа (ДТА) нагрева данной смеси массой ( $m_H$ ) 400 мг в безокислительной атмосфере (среде аргона) и окислительной атмосфере (на воздухе). На кривой ДТА в безокислительной атмосфере экзотермический пик отсутствует (см. рисунок 3.1, а), в отличие от кривой ДТА в окислительной среде (см. рисунок 3.1, б). Не наблюдалось воспламенение смеси и визуально.

Поэтому при разработке состава экзосмеси для ЛГМ учитывались четыре главных требования:

- стабильность температуры воспламенения ( $t_B$ );
- высокая теплотворная способность с ориентиром на 3000 кДж/кг;
- время горения, обеспечивающее условия  $\tau_{ГР} > \tau_0$ , приближающееся к продолжительности затвердевания отливки (питаемого узла), где  $\tau_{ГР}$  и  $\tau_0$ , время затвердевания, соответственно, прибыли и отливки;
- доступность ингредиентов экзосмеси по стоимости и наличию в товарном виде.

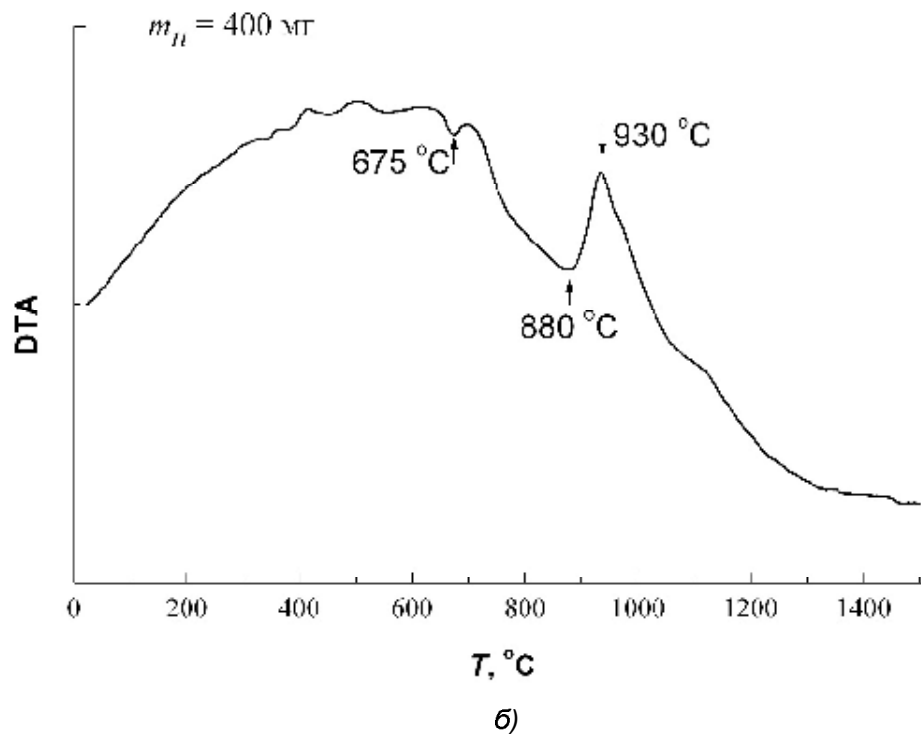
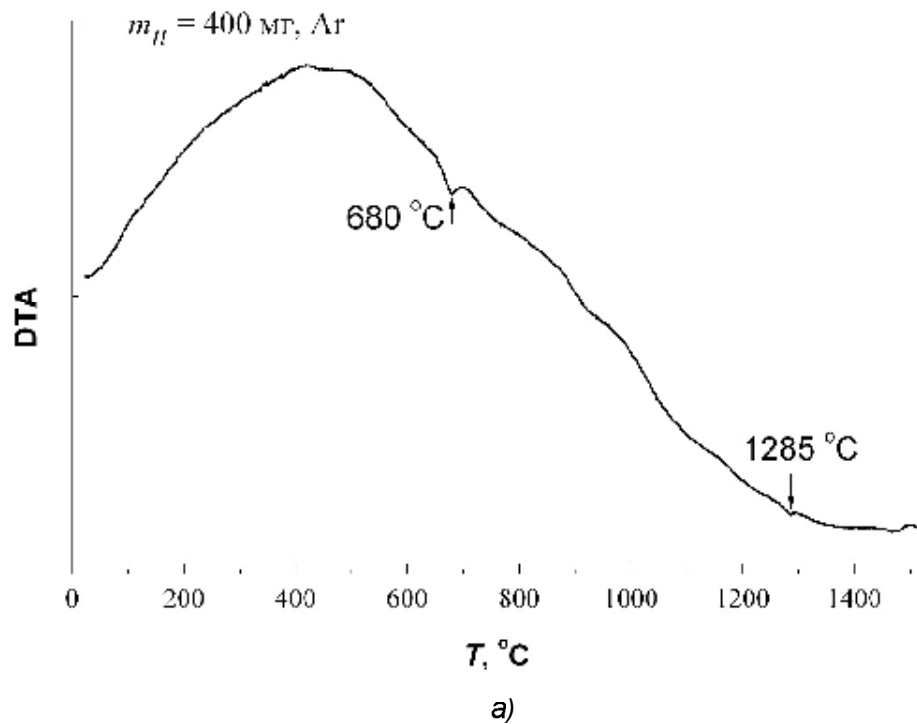
|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

45

При этом необходимо также учитывать специфику ЛГМ. Термическая деструкция модельного пенополистирола под действием тепла заливаемого металла сопровождается сложными химическими и фазовыми превращениями, приводящих



|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

46

Рисунок 3.1 – Кривые дифференциального термического анализа экзотермической смеси фирмы Fosco: а) в безокислительной атмосфере, б) в окислительной атмосфере

к образованию различных веществ в жидком, газообразном и твердом состояниях, что в основном определяется температурой залитого металла и в меньшей степени плотностью модели. Как показал дифференциальный термического анализ (рисунок 3.2) не зависимо от типа пенополистирола его газификация полностью заканчивается при 415 °С и протекает с эндоэффектом, то есть с поглощением тепла. Это эффект снижает количество тепла приходящегося на разогрев металла прибыли, что нужно учитывать при разработке состава экзотермической смеси и определении ее расхода.

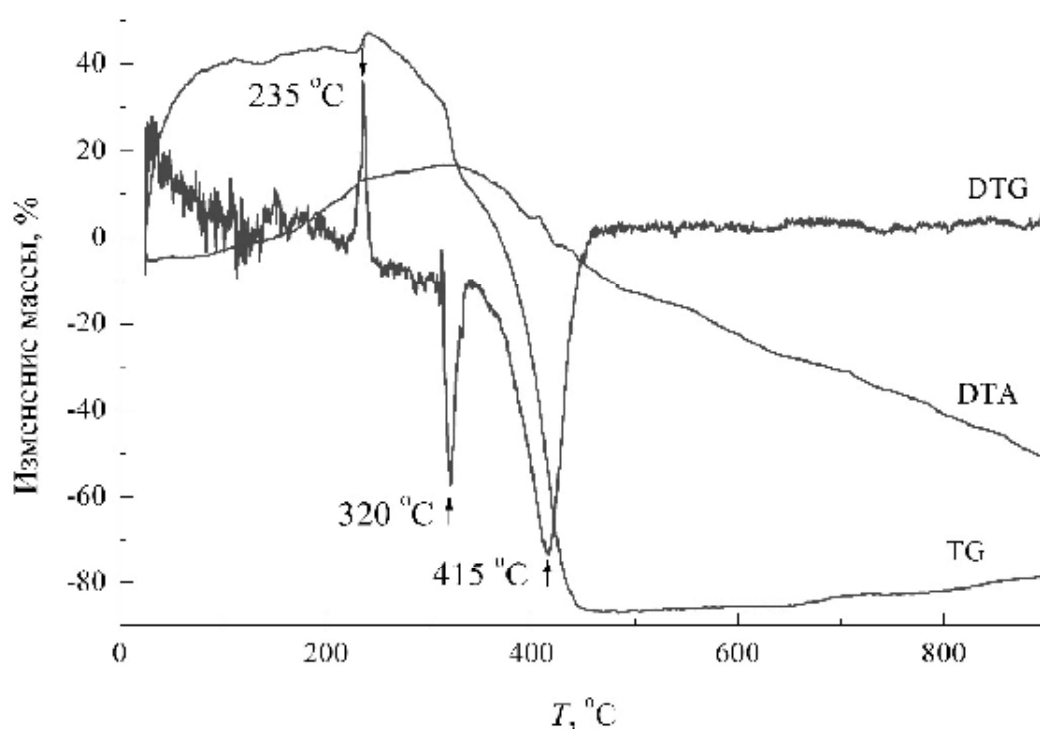


Рисунок 3.2 – Кривые дифференциального термического анализа литейного гранулированного пенополистирола (спеченного в термопластавтомате)

По результатам проведенных исследований, при литье по газифицируемым моделям можно рекомендовать для практического использования экзотермические смеси со следующим содержанием компонентов:

- порошок алюминиевый (АПВ или АПЖ) 6,0...9,0 % масс.;
- силикокальций (СК30) 24,0...28,0 % масс.;

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

47

- окислитель (окалина или пигмент железистоокисный) 65...70 % масс.;
- натрий фтористый – 0,1...0,6 % масс.

При отсутствии или дефиците силикокальция допускается использовать составы с повышенным до 20 % содержанием алюминиевого порошка и введением в смесь балластного наполнителя кварцевого песка.

В процессе исследований было установлено, что в качестве окислителя в экзосмеси также эффективно использовать шлам конвертерного производства, в частности, конвертерного цеха Челябинского металлургического комбината. Содержание  $Fe_2O_3$  в шламе конвертерного производства, как показал количественный рентгенофазовый анализ на дифрактометре Rigaku Ultima-IV с использованием программного обеспечения Rigaku PDXL v.1.8 с подключенной базой данных порошковых дифрактограмм ICDD PDF-2, находится в пределах 95...97 %.

Стоит отметить, что в условиях ЛГМ преимущество имеют насыпные экзоставки в пенополистироловую модель прибыли отливки, так как они не требуют, в отличие от формованных, применения связующих материалов органической или неорганической природы, которые увеличивают объем газов в форме, повышают температуру начала экзотермической реакции, могут ее при больших количествах блокировать, увеличивают массу вставок, что требует большего количества тепла и времени для их прогрева.

Насыпные экзотермические вставки не требуют применения специальной оснастки (стержневых ящиков), оборудования для их формовки и сушильных печей.

По аналогии с насыпными смесями при использовании термита в виде формованных вставок в прибыль в качестве связующих для него возможно использовать органические и неорганические материалы. Как показали лабораторные исследования целесообразно использовать натриевое жидкое стекло (плотность 1,29...1,32 г/см<sup>3</sup>) или лигносульфонат технический (плотностью 1,15 г/см<sup>3</sup>). Содержание связующего следует выдерживать в пределах 5...8 % масс. сверх сухих составляющих. Использование формованных вставок способствует образованию в прибыльной части отливки концентрированной усадочной раковины, что

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

48



положительно сказывается на качестве отливок склонных к образованию рассеянной усадочной пористости.

Смеси с вышеприведенным содержанием компонентов прошли опробование в лабораторных и производственных условиях. Опробование показало, что воспламенение смесей происходит при температурах не выше 1150 °С, скорость горения составляет 0,35...0,6 г/с. Анализ химического состава металла прибыли и подприбыльной части отливок, полученных с использованием разработанных экзотермических смесей, на спектрометре МСА-2А показал отсутствие насыщения стали 30Л алюминием и кремнием. Разница в значениях составляла ±0,01 % и по абсолютным показателям химсостав стали соответствовал требованиям ГОСТ 977-88 [9].

Для питания отливки «Рабочий орган» рационально использовать закрытую прибыль, установленную на отливку сверху.

В результате анализа существующих методик для расчета прибылей для было принято решение использовать метод Й. Пржибыла.

Объем прибыли в этом случае определяется по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{\beta \varepsilon_v}{1 - \beta \varepsilon_v} V_y, \quad (3.2)$$

где  $\beta$  – отношение объема прибыли к объему усадочной раковины;

$\varepsilon_v$  – часть объемной усадки сплава, принимающая участие в формировании усадочной раковины;

$V_y$  – объем питаемого узла.

Значения  $\beta$  и  $\varepsilon_v$  следующие:

- для отливок из стали и ВЧ  $\varepsilon_v=0,045$ ;
- для закрытых прибылей  $\beta=11$ , а для обогреваемых  $\beta=6$ .

За питаемый узел примем верхнюю массивную часть отливки без учёта выступающей нижней части. С учётом этого, питаемый узел  $V_y$  будет определяться отношением массы отливки к плотности стали за вычетом выступающего объема пустотелого цилиндра. Получим

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

49

$$V_y = \frac{m_{отл}}{\rho} = \frac{100}{7800} - 0,00174 = 0,01282 - 0,00174 = 0,01108 \text{ м}^3 = 11,08 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Определим массу питаемого узла  $m_y = V_y \cdot \rho = 0,01108 \cdot 7800 = 86,42 \text{ кг}$ .

Для закрытой прибыли:

$$V_{\Pi}^1 = \frac{11 \cdot 0,045}{1 - 11 \cdot 0,045} \cdot V_y = 0,9802 \cdot V_y = 0,9802 \cdot 0,01108 = 0,01086 \text{ м}^3 = 10,86 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Для прибыли с экзовставкой:

$$V_{\Pi} = \frac{6 \cdot 0,045}{1 - 6 \cdot 0,045} \cdot V_y = 0,37 \cdot V_y = 0,37 \cdot 0,01108 = 0,0040996 \text{ м}^3 = 4,1 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Масса прибыли с экзовставкой:

$$m_{пр} = V_{\Pi} \cdot \rho = 0,0040996 \cdot 7800 = 31,977 \text{ кг}.$$

Определим технологический выгод годного (ТВГ) по выражению:

$$\text{ТВГ} = \frac{V_{отл}}{(1 - \varepsilon_v)(V_{отл} - V_{\Pi})}, \quad (3.4)$$

где  $V_{отл}$  – объём отливки;

$V_{\Pi}$  – объём прибыли;

$\varepsilon_v$  – часть объемной усадки сплава, принимающая участие в формировании усадочной раковины.

ТВГ для закрытой прибыли составит:

$$\text{ТВГ} \square = 12,82 \cdot 10^3 / (1 - 0,045)(12,82 + 10,86) \cdot 10^3 = 0,5528;$$

$$\text{ТВГ} \square = 55,28 \text{ \%}.$$

ТВГ для прибыли с экзовставкой составит:

$$\text{ТВГ} = 12,82 \cdot 10^3 / (1 - 0,045)(12,82 + 4,099) \cdot 10^3 = 0,7933;$$

$$\text{ТВГ} = 79,33 \text{ \%}.$$

Рассчитаем размеры обогреваемой прибыли.

Для отливки «Рабочий орган» рационально использовать две фаселевидные прибыли с шейками для более простого их отделения от отливки.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

50

Примем шейку размерами, которые указаны на рисунке 3.3.

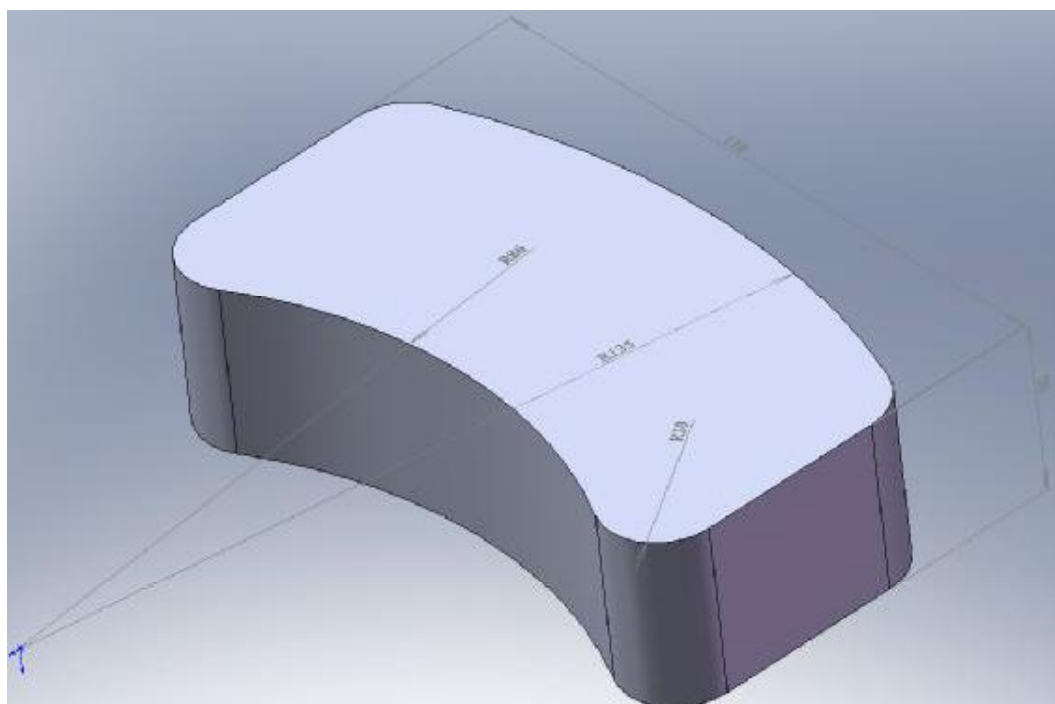


Рисунок 3.3 – Шейка легкоудаляемой прибыли для отливки  
«Рабочий орган»

С учётом геометрических размеров шейки её объём составит  $V_{ш} = 16,49 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , а масса  $m_{ш} = 1,286 \text{ кг}$ .

Расчётная масса прибыли с экзоставками составляет  $m_{пр} = 31,977 \text{ кг}$ . С учётом разделения этой массы на две части и вычитания массы шейки получим конструкционную массу одной прибыли  $m_{пр}^K = 14,7025 \text{ кг}$ . Конструкционный объём прибыли  $V_{п}^K = 1884,9 \text{ см}^3$ .

В конструкции прибыли учтём экзотермический элемент. Для этого определим его параметры. Плотность материала экзоставки  $\rho_{эв} = 2000 \text{ кг/м}^3 = 2,0 \text{ см}^3$ . Расход экзосмеси – 25...35 г на 1 кг прибыли.

Тогда масса вставки на одну прибыль составит  $m_{эв} = (m_{пр}^K + m_{ш}) \cdot (25...35) = (399,96...559,5975) \text{ г}$ .

Для установки в прибыль из стандартного ряда выбираем две вставки максимального размера массой каждая по 236 г (объемом по  $118 \text{ см}^3$ ). Суммарная

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

51

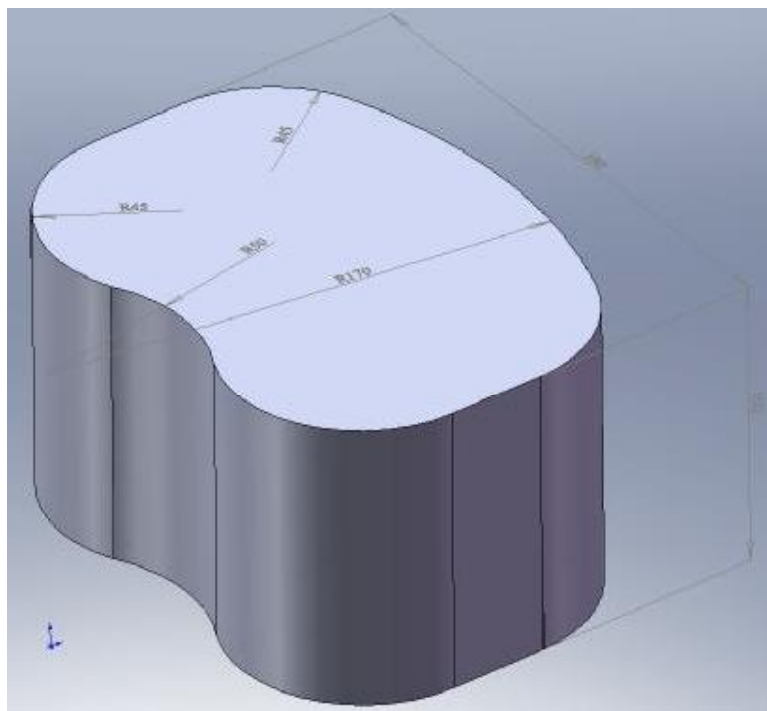
масса вставок на прибыль получится 472 г, а полный объем вставок на одну прибыль  $V_{эв} = 236 \text{ см}^3$ .

С учетом того, что верхняя часть каждой вставки высотой 10 см (40 грамм) будет выступать над телом прибыли, то объем одной вставки находящийся в теле прибыли составит  $(472/2-40)/2=98 \text{ см}^3$ .

Поскольку вставки будут располагаться в теле прибыли, то конструкционный объем прибыли необходимо увеличить на объем экзотермических элементов, находящихся в теле прибыли. Получим скорректированный объем прибыли  $V_{\Pi}^C = 1884,90 + (98*2) = 2080,9 \text{ см}^3$ .

Перед определением фактических параметров прибыли зададим конструкционному объёму фаселевидную форму. Размеры фаселевидной прибыли определим в системе трехмерного конструирования. Они представлены на рисунке 3.4.

Добавим высоту шейки получим фактический размер прибыли  $h_{\phi}=102+30=132 \text{ мм}$ . Эскиз прибыли с установленными коническими экзотермическими вставками (исполнение А) показан на рисунке 3.5. Эскиз прибыли с цилиндрическими экзотермическими вставками (исполнение Б) показан на рисунке 3.6.



|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

52

Рисунок 3.4 – Фасолевидная прибыль для отливки «Рабочий орган»

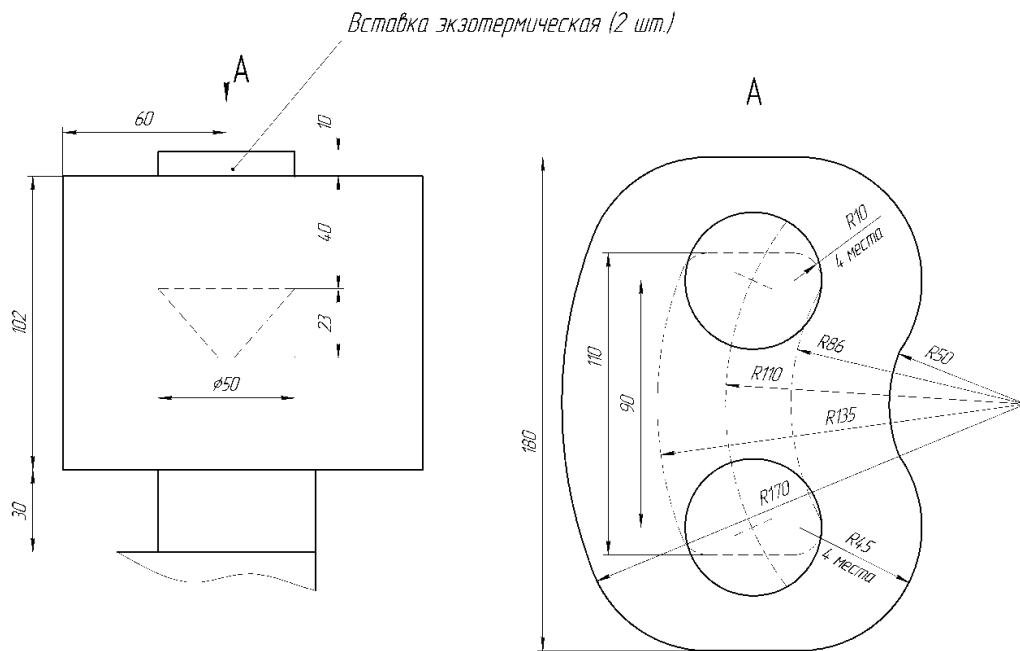


Рисунок 3.5 – Прибыль с установленными коническими экзотермическими вставками (исполнение А)

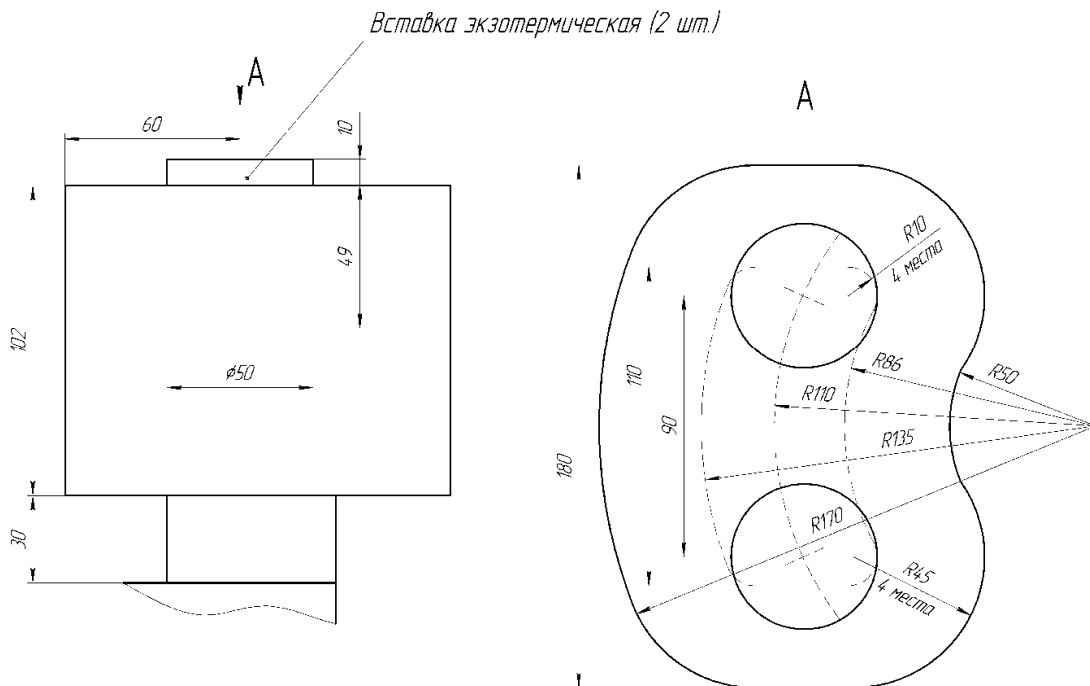


Рисунок 3.6 – Прибыль с установленными цилиндрическими экзотермическими вставками (исполнение Б)

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

Лист

53

Расчет показывает, что технологический выход годного (ТВГ) без экзоставок составляет 55,28 %, а с применением экзоставок - 79,33 %. Следовательно, расход металла существенно сокращается, что ведет к уменьшению затрат на производстве.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

54

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов рабочей среды и трудового процесса

В соответствии с ГОСТ 12.0.003–03 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» в проектируемом литейном цехе можно выделить опасные и вредные производственные факторы:

- избыточное выделение теплоты;
- тепловой поток;
- повышенный уровень шума;
- вибрации;
- движущиеся машины и механизмы;
- транспортно-подъемные устройства;
- электромагнитных излучений;
- повышенное значение напряжения в электрических цепях;
- повышенная температура поверхностей оборудования;
- пыль дезинтеграции и конденсации;
- выделение паров и газов.

### 4.2 Вредные вещества

К опасным и вредным производственным факторам в перевооружаемом цехе относятся пыль, выделяющиеся газы и пары в соответствии с ГОСТ 12.0.002–03 и ГОСТ 12.0.003–03. Источниками выделения пыли и газа являются плавильные агрегаты, оборудование для вспенивания полистирола, участки формовки, выбивки и отчистки отливок.

Основную часть пыли составляет диоксид кремния – примерно 10 %. Пыль может оказывать на организм человека фиброгенное раздражающее и токсическое

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

55

действие. Степень опасности пыли зависит от формы, размеров частиц, их твердости, электростатической заряженности.

Основным вредным газом является окись углерода, источником выделения которого служит: участок окраски и сушки моделей, индукционная печь, залитые формы в процессе их остывания.

К газам, загрязняющим воздух литейного цеха, относятся:

- оксид азота класс опасности 4;
- оксид углерода класс опасности 4;
- диоксид серы класс опасности 3;
- углекислый газ класс опасности 4;

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны и воздухе населенных мест не должно превышать установленных ПДК (таблица 4.1).

Горючие газы и пары, газодисперсные системы являются потенциальными источниками пожаровзрывоопасности. В помещениях цеха, где возможно выделения в атмосферу горючих газов и паров, установлены сигнализаторы взрывоопасных концентраций и аварийная вытяжная вентиляция.

Контроль содержания вредных веществ 2...4 класса в воздухе цеха проводится по графику. Для устранения вредного воздействия выделяющихся при производстве веществ на рабочих, население и окружающую среду предусмотрена очистка технологических выбросов.

Таблица 4.1 – ПДК вредных веществ, сопутствующих литейному производству

| Наименование веществ                           | ПДК, мг/м <sup>3</sup>             | ПДК, мг/м <sup>3</sup> по факту в цехе |
|--|------------------------------------|--|
|  | максимально разовые в рабочей зоне |  |
| Окислы азота                                   | 5                                  | 3                                      |
| Кремнесодержащие пыли (SiO <sub>2</sub> > 70%) | 1                                  | 0,5                                    |
| Известняк                                      | 6                                  | 4                                      |
| Окись углерода                                 | 20                                 | 15                                     |
| Оксиды марганца                                | 0,3                                | 0,1                                    |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

56



### 4.3 Микроклимат

Микроклимат определяется действием на организм человека температуры, влажности и скорости движения воздуха – СанПиН 2.2.4.548 – 96 и ГОСТ 12.1.005-88.

В качестве теплоносителя для системы отопления производственных помещений применяется горячая вода с температурой 150 °С.

В холодное время подогреваемый воздух через специальные насадки подается к воротам, отсекая воздушные холодные массы.

Значения ТНС-индекса (тепловой нагрузки среды) в цехе не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма

| Категория работ по уровню энергозатрат | Величины интегрального показателя, °С |
|--|---------------------------------------|
| Ia (до 139)                            | 22,2-26,4                             |
| Iб (140-174)                           | 21,5-25,8                             |
| IIa (175-232)                          | 20,5-25,1                             |
| IIб (233-290)                          | 19,5-23,9                             |
| III (более 290)                        | 18,0-21,8                             |

В технически перевооружаемом цехе категория работ по уровню энергозатрат – Iб.

Для предупреждения повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны и окружающей среды, а также опасности отравления применяют:

- местные отсосы и общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию рабочих и складских помещений, обеспечивающие состояние воздушной среды помещений и рабочих зон согласно ГОСТ 12.1.005-98 (2001);
- технические средства улавливания и очистки удаляемого вентиляцией загрязненного воздуха от химических вредных веществ.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

57

К санитарно-техническим мероприятиям относятся: локализация тепло – выделений, теплоизоляция рабочих поверхностей и экранирование рабочих мест, вентиляция.

Подача компонентов в формовочное отделение механизирована, транспортеры закрыты. Заливочные участки оборудованы общеобменной вытяжной вентиляцией.

#### 4.4 Шум

Наибольшие уровни шума характерны для участков формовки, выбивки отливок, зачистки и обрубки. Параметры шума и общие требования безопасности регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.562-01.

Общие требования безопасности при использовании машин и оборудования, работа которых сопровождается шумом, допустимые уровни звукового давления на рабочих местах устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.003-03 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Таблица 4.3 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

| Категория напряженности трудового процесса | Категория тяжести трудового процесса |                             |                        |                        |                        |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  | легкая физическая нагрузка           | средняя физическая нагрузка | тяжелый труд 1 степени | тяжелый труд 2 степени | тяжелый труд 3 степени |
| Напряженность легкой степени               | 80                                   | 80                          | 75                     | 75                     | 75                     |
| Напряженность средней степени              | 70                                   | 70                          | 65                     | 65                     | 65                     |
| Напряженный труд 1 степени                 | 60                                   | 60                          | -                      | -                      | -                      |
| Напряженный труд 2 степени                 | 50                                   | 50                          | -                      | -                      | -                      |

Применение индивидуальных средств защиты (противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающий к нему) уменьшает вредное воздействие шума на человека.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

58

#### 4.5 Вибрация

В литейном цехе источниками общей вибрации являются сотрясения пола и других конструктивных элементов здания вследствие ударного действия выбивных решеток и других машин. Параметры общей и локальной вибрации регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.566-01.

Фактическая величина вибрации на рабочих местах поддерживается ниже допустимого уровня за счет проведения технических мероприятий двух направлений: воздействие на источник вибрации и снижение вибрации на пути ее возникновения. Для снижения вибрации увеличены массы фундаментов вибрирующего оборудования, выполнены акустические разрывы и акустические швы вокруг фундаментов вибрирующего оборудования.

Параметры вибрации на рабочих местах не должны превышать допустимых величин по ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». Гигиенические нормы вибрации, допустимые к воздействию на работника в течение рабочей смены приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Гигиенические нормы вибрационного воздействия

| Вид вибрации                | Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в активных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |     |     |     |     |      |     |     |     |     |      |
|-----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
|                             | 1  | 2   | 4   | 8   | 16  | 31,5 | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 |
| Транспортно-технологическая | -  | 117 | 108 | 102 | 101 | 101  | 101 | -   | -   | -   | -    |
| Технологическая             | -  | 108 | 99  | 93  | 92  | 92   | 92  | -   | -   | -   | -    |
| В служебном помещении       | -  | 91  | 82  | 76  | 75  | 75   | 75  | -   | -   | -   | -    |
| Локальная вибрация          | -  | -   | -   | 115 | 109 | 109  | 109 | 109 | 109 | 109 | 109  |

#### 4.6 Освещение

Нормы освещенности рабочих мест регламентируются СНиП 23-05-95 (2001) «Естественное и искусственное освещение», которое обеспечивает на рабочих местах равномерную яркость, отсутствие резких теней и блескости, постоянство

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

59

освещенности во времени и правильности направления светового потока. Зрительные работы в цехе относятся к работам средней точности, что соответствует IV разряду зрительной работы. Особое внимание уделено освещению модельного участка, где происходит изготовление моделей и их сборка с элементами литниковой системы.

Освещение в производственной деятельности, как фактор охраны труда, имеет большое значение. Недостаточное или неправильно устроенное освещение ухудшает зрение работников, вызывает общее утомление, ведет к снижению производительности труда, к увеличению брака в работе и может явиться одной из основных причиной травматизма.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 / (n \cdot \eta), \quad (4.1)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$K_z$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен, т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма), пыли;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{ср.}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

$n$  – число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока, %.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ . Индекс помещения определяется по формуле:

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

60

$$i = S / h(A+B) \quad (4.2)$$

$$i = 1872 / (9 \cdot (35+120)) = 1,25$$

$$\Phi = 200 \cdot 1872 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 / (125 \cdot 70) = 7060 \text{ лм}$$

Световой поток для одного светильника равен 7060 лм, следовательно, для светильника типа ОД – 2-125 с двумя лампами мощностью 125 Вт выбирается люминесцентная лампа белого цвета (ЛБ) со световым потоком равным 6500 лм, с учетом этого общее количество ламп 250 [16].

Аварийное освещение предусматривается для безопасного продолжения работы или при внезапном повреждении освещения. Аварийное и охранное освещение литейного цеха должно предусматриваться в соответствии со СанПин 2.1.1.1278-03. Рекомендуемые значения освещенности приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Освещенность участков при использовании газоразрядных ламп

| Наименование участков операций  | Рабочая поверхность        | Нормируемая поверхность | Разряд зрительной работы | Общее освещение, лк | КЕО, % |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|--------|
| Погрузка и разгрузка материалов | площадка, закром           | горизонталь             | IV <sub>а</sub>          | 150                 | 2,4    |
| Плавнение металла               | печь                       | горизонталь, вертикаль  | IV <sub>г</sub>          | 150                 | 2,4    |
| Загрузка шихты                  | загрузочная площадка, свод | горизонталь             | VIII <sub>б</sub>        | 200                 | 0,7    |
| Изготовление форм               | 0,8 м от пола              | горизонталь             | VI                       | 300                 | 1,8    |

#### 4.7 Безопасность производственных процессов и оборудования

Безопасность литейного производственного процесса обеспечивается выбором техпроцессов и производственного оборудования, помещений и исходных

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

61

материалов, способ их хранения, транспортирования. А также правильным размещением оборудования, установлением функций работающих, их обучением, использованием средств индивидуальной защиты. Безопасность техпроцессов достигается соблюдением требований ГОСТ 12.3.027 – 2004.

Шихтовое отделение: для обеспечения безопасности операций по переработке исходных материалов, формовочные и шихтовые хранят в закромах и бункерах. На все поступающие в цех шихтовые и формовочные материалы должны быть токсикологические характеристики. На участке изготовления форм, плавки металла имеется приточно-вытяжная вентиляция, пожарная сигнализация и средств пожаротушения.

Безопасность литейного оборудования соответствует требованиям ГОСТ 12.2.046 – 95, производственного оборудования – ГОСТ 12.2.003 – 95.

Расстояние между единицами оборудования, а также между оборудованием и стенами производственных зданий, сооружений и помещений соответствуют СНиП 31-03-2001.

В плавильном отделении установлены оградительные и предохранительные устройства. Рабочие плавильного отделения обязаны пользоваться исправной спецодеждой (суконный костюм, сапоги) и средствами индивидуальной защиты (войлочная шляпа, каска, экран, очки светозащитные, очки защитные, рукавицы и респираторная маска) – ГОСТ 12.3.027 – 2004.

Работы по выбивке и транспортированию отливок механизированы. Работа выбивной решетки связана с работой вытяжной вентиляции и работой транспортеров, конвейеров для уборки отработанной смеси.

При работе на дробеметной камере необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты лица, например, наголовным шлемом с прозрачным экраном по ГОСТ 12.3.027-2004.

При работе на формовочной линии формовщик обязан выполнять установленную технологию и правила безопасного выполнения работ.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док-м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

62

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана технология изготовления отливки «Рабочий орган». Выбрано основное оборудование и применяемые материалы для производства отливки. Дано описание основного технологического оборудования и процессов.

В специальной части выполнены расчеты по применению экзотермических вставок, спроектированы прибыли и литниковая система для изготовления отливки.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

63

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ проблем внедрения технологии литья по газифицируемым моделям на предприятии ОАО «Машзавод». – <http://elib.altstu.ru>.
2. Шуляк, В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
3. Теория литейных процессов: учебное пособие /Л. Г. Знаменский, В. К. Дубровин, Б. А. Кулаков, В. И. Швецов.- Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. - 163 с.
4. Сайт «Российская ассоциация литейщиков», оборудование фирмы «OTTO JUNKER». – <http://www.ruscastings.ru/work/168/5615/5621/6527>.
5. Официальный сайт «Российской ассоциации литейщиков». Технология литья ЛГМ.– [www.ruscastings.ru](http://www.ruscastings.ru).
6. Официальный сайт фирмы «Амурлитмаш». – <http://www.amurlitmash.ru/drobemetnye-barabany/periodicheskogo-dejstvija/42202>
7. Сайт «Российская ассоциация литейщиков», оборудование фирмы «Электропечь». – <http://www.ruscastings.ru/work/168/170/181/5564>.
8. Новохацкий, В.А. Малоотходная технология производства стальных отливок с экзотермическими прибылями / В.А. Новохацкий, А.А. Жуков, Ю.И. Макарычев. –М.: Машиностроение, 1966. – 64 с.
9. Экзотермический разогрев прибылей отливок в литье по газифицируемым моделям. – <https://vestnik.susu.ru/metallurgy/article/view/6033>.
10. Иванов, Б. С. Охрана труда в литейном и термическом производстве / Б. С. Иванов – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
|     |      |          |       |      |
| Изм | Лист | № док.м. | Подп. | Дата |

22.03.02.2017.909.00.00 ПЗ

лист

64