

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Технических дисциплин  
Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия»  
направленность (профиль) «Металлургия черных металлов»

Допускается к защите  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_/Д.С. Балабанов/  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему: «Разработка мероприятий по снижению брака при  
производстве деталей из серого и высокопрочного чугуна».

Студент \_\_\_\_\_ / Останина О.И. /

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на \_\_\_\_\_ стр.
2. Графическая часть на \_\_\_\_\_ листах.

Руководитель \_\_\_\_\_ / Грачев А.Н. /

Лысьва, 2019г.

## **Аннотация**

Настоящая выпускная квалификационная работа состоит из задания, введения, 2 глав, заключения, списка литературы.

Выпускная квалификационная работа изложена на 42 страницах, содержит 6 рисунков, 4 таблицы.

Объектом исследований являлся высокопрочный чугун марки ВЧ 40, а целью работы являлась разработка мероприятий по снижению брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна.

В данной работе приведен аналитический обзор литературных источников, рассмотрены варианты изготовления отливок из смеси ХТС, эксплуатационные и механические свойства, рассмотрен плавильный агрегат для выплавки данного чугуна, предоставлены возможные варианты для снижения брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Содержание.....  | 3  |
| Введение.....  | 4  |
| 1. Общий раздел.....   | 5  |
| 1.1. Краткая характеристика предприятия.....   | 5  |
| 1.2. Высокопрочный чугун.....  | 6  |
| 1.3. Среднечастотная индукционная печь .....   | 14 |
| 2. Технологический раздел.....   | 25 |
| 2.1. Разработка мероприятий по снижению брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40..... | 25 |
| 2.2. Подготовка оборудования и оснастки к работе.....  | 26 |
| 2.3. Подготовка шихтовых материалов.....   | 27 |
| 2.4. Порядок расчёта шихты.....  | 28 |
| 2.5. Загрузка шихты в печь.....  | 29 |
| 2.6. Выпуск металла из печи.....   | 33 |
| 2.7. Методы контроля.....  | 36 |
| 2.8. Формовка отливок на смеси ХТС.....  | 37 |
| 2.9. Виды брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40 и способы их устранения.....       | 39 |
| Заключение.....  | 41 |
| Список литературы.....   | 42 |

## **Введение**

Целью выпускной квалификационной работы является разработка мероприятий по снижению брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40 на базе ООО «Спецсплав-М».

План действий по решению задач:

- ознакомиться с оборудованием и технологиями изготовления отливок на предприятии;
- рассмотреть химический состав высокопрочного чугуна марки ВЧ 40;
- рассмотреть методы выплавки высокопрочного чугуна марки ВЧ 40 в индукционной печи;
- рассмотреть варианты изготовления отливок из смеси ХТС;
- рассмотреть основные виды брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40, дать рекомендации по их устранению;

Объектом исследования данной работы является высокопрочный чугун марки ВЧ 40.

## Общий раздел

### 1.1. Краткая характеристика предприятия.

Предприятие «Спецсплав-М» занимается производством чугунного литья с 2003 года. Штат предприятия составляет более 200 человек. На производстве освоена переработка чугунного лома и отходов категорий А и Б (ГОСТ 2787-75). Чушковой чугун марки нирезист: предприятие изготавливает чугун легированный в чушках и слитках марки ЧН16Д6Х2 массой от 15 до 400 килограммов с содержанием никеля 15%, 16%, 20%. Высокопрочный чугун марки ВЧ 40: отливки из ВЧ 40 корпуса 0059;1936; 046, крышка 036. Насосное литье: рабочие органы погружных насосов УЭЦН.

Литье в кокиль: чугунные утяжелители из серого чугуна (наружный диаметр трубы 1020, 1220, 1420, 1630 мм) для подводных участков магистральных и линейных нефтегазопроводов в соответствии с требованиями ГОСТ 26645-85, ГОСТ 1412-85 и нормами Газпрома НГ 1125.

Оснастка для металлургических производств: изложница ВЧШГ, шлаковни СЧ (емкость 2,5 м.куб), прибыльные надставки, кокиль-изложница для различных видов слитков (10-15, 30-40, 300-400 кг), колосники из хромоникелевого чугуна, мульды для завалки шихты.

На предприятии «Спецсплав-М» используется такое оборудование как: автоматическая линия холодно твердеющих смесей Omega, которая включает в себя непосредственно сам смеситель, бункер с песком и регенерированным песком, емкости со смолой и отвердителями; стержневые автоматы Peterle, дающие более качественные стержни; индукционные среднечастотные печи FS 30.

### 1.2. Высокопрочный чугун.

ВЧШГ – это высокопрочный чугун с шаровидным графитом соединяющий в себе высокую коррозионную стойкость чугуна (долговечность в эксплуатации), и механические свойства стали (прочность на разрыв и пластичность).

Высокопрочный чугун отличается тем, что его высокие механические свойства обусловлены шаровидным графитом, который в меньшей степени, чем пластинчатый графит в СЧ, ослабляет рабочее сечение матрицы и, что еще важнее, не оказывает на нее сильного надрезающего действия, вследствие чего вокруг сфероидов графита в меньшей степени создаются концентрации напряжений. Кроме того, некоторые марки этого чугуна имеют также высокую износостойкость и хорошие коррозионную стойкость, теплостойкость, жаростойкость, хладостойкость, антифрикционные свойства и обрабатываемость и могут подвергаться сварке и автогенной резке.

Весьма важно также, что высокопрочный чугун имеет хорошие литейные свойства: высокую, малую величину, незначительную склонность к образованию горячих трещин. Вместе с тем его склонность к образованию усадочных раковин и литейных напряжений выше, чем у серого чугуна, и находится на уровне стали или ковкого чугуна.

Наиболее важным для механических свойств высокопрочного чугуна является получение графита правильной шаровидной формы, хотя в некоторых случаях допустим графит смешанной формы. Правильная шаровидная форма графита зависит от ряда факторов (состав металла, условия модифицирования, шихтовые материалы и прочие условия плавки), но в первую очередь она связана с содержанием остаточного Mg, Ce или других сфероидизаторов.

Значительные трудности представляет получение самой высшей марки чугуна - ВЧ 120-4. Можно указать на целесообразность ведения плавки (и при этом преимущественно в электропечах) с применением шихт с высоким содержанием стали или выплавки чисто синтетического чугуна с добавочным легированием молибденом в количестве 0,2 - 0,4% и вводом при модифицировании комплексных модификаторов.

Высокопрочный чугун по составу является одним из основных факторов, определяющих механические свойства ВЧШГ.

Углерод в высокопрочном чугуне, в противоположность СЧ, не надо поддерживать; на низком уровне для получения высоких механических свойств. Наоборот, он обычно выдерживается для высоких марок в пределах 3,2 - 3,6%, что облегчает процесс получения металла в вагранках.

Кремний оказывает значительное влияние как на структуру, так и на механические свойства ВЧШГ, и практически регулирование количества феррита в ВЧШГ в сыром состоянии осуществляют подбором содержания кремния в металле. Марганец оказывает на структуру ВЧШГ влияние, противоположное влиянию кремния, уменьшая количество феррита и увеличивая количество перлита. Поэтому для получения высокой пластичности содержание марганца не должно превышать 0,4%.

Фосфор оказывает весьма существенное влияние на структуру и свойства ВЧШГ, образуя ФЭ и понижая удлинение и ударную вязкость поэтому его содержание не должно превосходить 0,1% и даже, если возможно, должно быть ниже, особенно в толстостенных отливках, где широко развивается его ликвация. Содержание серы в исходном жидком чугуне до модифицирования должно находиться на низком уровне (не выше 0,02% или даже ниже), так как она затрудняет процесс модифицирования и получение ШГ и понижает механические свойства ВЧШГ вследствие образования сфероидизаторами сульфидов.

Медь в количестве более 2,0% препятствует образованию ШГ, а при наличии Ti > 0,04% даже при 1% Си образуется ПГ. Кроме того, Си уже в

количестве 1,0% - 1,5% приводит к образованию перлита, повышая прочность чугуна и понижая его пластичность. Алюминий, подобно меди, оказывает вредное влияние на ВЧШГ, способствуя образованию ПГ уже при содержании 0,2% и особенно при 0,25 - 0,6% и медленном охлаждении отливок.

Никель способствует увеличению количества перлита в высокопрочном, как и в сером чугуне. Никель и молибден в ВЧШГ при совместном легировании способствуют образованию бейнитной и мартенситной структур в сыром состоянии. Никель и марганец в ВЧШГ при совместном легировании (до 2 и 3,5% соответственно) позволяют получать конструкционный чугун с повышенными значениями износостойкости и кавитационной стойкости.

Магний и церий, применяющиеся как сфероидизаторы, обычно остаются в ВЧШГ в количестве не менее 0,03 и 0,02% соответственно, в противном случае графит кристаллизуется в шаровидной форме только частично, вследствие чего механические свойства высокопрочного чугуна понижаются.

Износостойкость является положительной особенностью ВЧШГ поэтому этот высокопрочный чугун часто применяется для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа и трения при высоких удельных давлениях и затрудненной смазке. Наиболее благоприятной в этом случае матрицей нелегированного ВЧШГ является перлитная, характеризующаяся меньшим износом и меньшим коэффициентом трения.

К числу важных свойств нелегированного или слаболегированного ВЧШГ относятся, кроме высоких механических, антифрикционные свойства, проявляющиеся при работе деталей в условиях трения в подшипниках. Материал, работающий в таких условиях, помимо высокой износостойкости, должен обладать рядом других свойств, к числу которых относятся: низкий коэффициент трения, высокая теплопроводность, препятствующая повышению температуры на поверхности трения, хорошая обрабатываемость, хорошая прирабатываемость, способность удерживать смазку в виде непрерывной пленки, отсутствие заедания и т. п.

По герметичности ВЧШГ значительно превосходит СЧ вследствие отсутствия графитной пористости и поэтому является благоприятным материалом для отливок, работающих под большим давлением (400 кгс/см<sup>2</sup> и более). Это позволяет использовать его для производства деталей дизелей, насосов, гидравлических и газовых установок.

Коррозионная стойкость высокопрочного чугуна весьма высока: не ниже, чем у СЧ, и значительно выше, чем у углеродистой стали. При коррозии высокопрочного чугуна очень быстро образуется поверхностный окисленный слой, который прочно сцеплен с матрицей и препятствует дальнейшему развитию коррозии, в отличие от стали, на

поверхности которой образуется легко отслаивающийся слой, не препятствующий дальнейшему распространению коррозии. Особенно велика коррозионная стойкость ВЧШГ в атмосферных условиях, что наиболее заметно при воздействии морской атмосферы, когда высокопрочный чугун превосходит даже медистую сталь. Кавитационная стойкость ВЧШГ значительно выше, чем у СЧ, причем при перлитной структуре она больше, чем при ферритной.

Жаростойкость высокопрочного чугуна выше, чем у СЧ, вследствие меньшего окисления металла по границам разобщенных включений графита и уменьшения роста, что особенно заметно при высоких температурах. При температурах до 400 - 500° С явление роста в высокопрочном чугуне практически не наблюдается, а механические свойства чугуна при этих температурах снижаются незначительно.

Литейные свойства ВЧШГ значительно отличаются от соответствующих свойств других чугунов.

Высокопрочный чугун по усадке значительно отличается от усадки СЧ, что является основной причиной большой склонности его к образованию усадочных дефектов, хотя по усадке в жидком состоянии ВЧШГ не отличается от СЧ. Общая усадка ВЧШГ практически меньше, чем у СЧ, но разница эта сравнительно невелика и изготовление моделей и стержневых ящиков часто производится с применением тех же усадочных масштабов, что и для СЧ.

Благодаря высоким показателям и хорошему сочетанию прочностных, эксплуатационных, физических и технологических свойств ВЧШГ находит очень широкое применение во всех отраслях промышленности. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, им во многих случаях заменяют стальное литье, стальные поковки, ковкий и серый чугуны.

Преимуществом ВЧШГ перед сталью является меньшая плотность, а значит, и меньшая масса, которая еще более снижается в связи с тем, что из этого чугуна можно отливать более тонкостенные детали благодаря его более высокой жидкотекучести.

Важным преимуществом в этом отношении является также более низкая температура плавления (примерно на 300° С), что облегчает и удешевляет процесс плавки. Кроме того, значительно упрощается и удешевляется изготовление литейных форм, так как не требуются дорогие формовочные материалы, специальная керамика для литниковых систем и т. п.

Большим преимуществом ВЧШГ являются также его более благоприятные литейные свойства, в том числе меньшая литейная усадка и соответственно меньшая склонность к образованию горячих трещин, а также большая циклическая вязкость и более высокие значения служебных свойств (износостойкость и антифрикционные свойства, жаростойкость, обрабатываемость и др.), как это было указано выше.

Высокие значения механических свойств ВЧШГ дают также возможность заменять им серый чугун, причем возможны уменьшение толщин стенок и снижение массы отливок.

По всем указанным причинам ВЧШГ применяется в настоящее время для большой номенклатуры деталей ответственного назначения массой от нескольких килограмм до нескольких тонн для работы при высоких статических, ударных и циклических нагрузках в условиях износа, а также и при воздействии агрессивных сред и высоких температур.

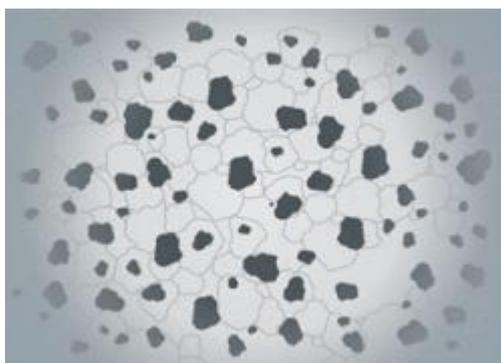


Рис.1 Структура высокопрочного чугуна.

#### 1.1.1. Химический состав чугуна марки ВЧ40.

Рекомендуемый хим. состав чугуна марки ВЧ40 приведён в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав ВЧ40. ТУ 4111-012-70852124-2009.

| Материал                           | Массовая доля элементов, % |               |         |          |      |     |     |     |     |             |
|------------------------------------|----------------------------|---------------|---------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-------------|
|                                    | C                          | Si            | Mn      | S        | P    | Cr  | Cu  | V   | Ti  | Mg          |
|                                    |                            |               |         | не более |      |     |     |     |     |             |
| Чугун <u>до</u> модифицирования    | 3,8-4,0                    | Не менее 1,8% | 0,2-0,6 | 0,02     | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -           |
| Чугун <u>после</u> модифицирования | 3,8-4,1                    | 2,3-2,5       | 0,2-0,6 | 0,02     | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,035-0,055 |



Рис.2 Микроструктура чугуна до модифицирования – перлит (а) и после модифицирования – шаровидный графит (б)

### 1.1.2. Свойства высокопрочного чугуна.

Свойства высокопрочных чугунов весьма многообразны, однако отличительной особенностью таких чугунов является сочетание хороших литейных свойств и высоких прочностных характеристик. К свойствам высокопрочного чугуна относятся также: хорошая обработка резанием, высокая пластичность, низкая чувствительность к концентраторам напряжения, устойчивость к циклическим нагрузкам.

Литейные свойства высокопрочного чугуна, в частности ВЧШГ:

- высокая жидкотекучесть,
- малая склонность к образованию горячих трещин,
- малая усадка.

Требования к механическим свойствам высокопрочного чугуна регламентированы стандартом ГОСТ 7293-85 (СТ СЭВ 4558-84).

### 1.1.3. Область применения высокопрочного чугуна.

Из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом изготавливают отливки развесом от десятых долей килограмма до нескольких десятков тонн. Свойства ВЧШГ очень разнообразны, поэтому высокопрочный чугун применяется: взамен серого чугуна — для удлинения срока службы отливок (изложниц, прокатных валков, поршней, поршневых колец и др.); взамен стали — с целью упрощения и удешевления производства, уменьшения количества металла и рационализации конструкции отливок (коленчатых валов, траверс, шестерен и др.); взамен цветных сплавов — целью сокращения расхода дефицитных металлов и уменьшения стоимости машин. Наряду с конструктивными высокопрочными чугунами применяются высокопрочные чугуны со специальными свойствами: жаростойкий и ростоустойчивый, стойкий в различных агрессивных средах, антифрикционный высокопрочный

чугун с низким коэффициентом трения и т.д. Самая известная на сегодняшний день область применения высокопрочного чугуна — это производство труб из ВЧШГ.

Повышенные механические свойства чугуна (таблица 2) с шаровидным графитом позволяют использовать его для изготовления изделий ответственного назначения: рабочих деталей насосов высокого давления, деталей турбин, работающих в условиях ударных и знакопеременных нагрузок, клапанов, шатунов, прокатных валков и др. Температура плавления высокопрочного чугуна-1150- 1200° С.

Таблица 2. – Механические свойства чугуна

| Чугун    | Предел прочности при растяжении, кгс/мм <sup>2</sup> | Относительное удлинение, % | Ударная вязкость, кг*см/см <sup>2</sup> | Твердость НВ |
|----------|--|----------------------------|---|--------------|
| ВЧ 38-17 | 38   | 17                         | 6,0                                     | 140-170      |
| ВЧ 42-12 | 42   | 12                         | 4,0                                     | 140-200      |
| ВЧ 45-5  | 45   | 5                          | 3,0                                     | 160-220      |
| ВЧ 50-2  | 50   | 2                          | 2,0                                     | 180-260      |
| ВЧ 60-2  | 60   | 2                          | 2,0                                     | 200-280      |
| ВЧ 70-3  | 70   | 3                          | 3,0                                     | 229-275      |
| ВЧ 80-3  | 80   | 3                          | 2,0                                     | 220-300      |
| ВЧ 100-4 | 100  | 4                          | 3,0                                     | 302-369      |
| ВЧ 120-4 | 120  | 4                          | 3,0                                     | 302-369      |

Механические свойства ВЧ40.

Механические свойства чугуна марки ВЧ40:

- временное сопротивление при растяжении 380-600 М па;
- твердость по Бринеллю 140-202 НВ.

### 1.1.3. Маркировка.

Маркируют высокопрочные чугуны по ГОСТ 7293-85 буквами ВЧ и двужначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение в десятках мегапаскалей. Например, высокопрочный чугун ВЧ 40 имеет временное сопротивление при растяжении 400 МПа, относительное удлинение - не менее 10%, твердость HB = 1400-2200 МПа, структура перлитно-ферритная. Маркировка по предшествующему ГОСТу 7293-79 предусматривала дополнительное указание относительного удлинения в процентах, например, ВЧ 40-10.

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

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

Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре шаровидного графита, который в меньшей степени, чем пластинчатый графит в сером чугуне, ослабляет рабочее сечение металлической основы и, что еще важнее, не оказывает на нее сильного надрезающего действия, благодаря чему вокруг включений графита в меньшей степени создаются концентраторы напряжений. Чугун с шаровидным графитом обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью. Наличие графита улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка. Чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения. Из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость. Детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях). Чугун значительно дешевле стали. Производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

### **1.3. Среднечастотная индукционная печь**

Высокопрочный чугун марки ВЧ 40 выплавляют в среднечастотных индукционных печах на предприятии ООО «Спецсплав-М» в цехе №2 по производству чугунного литья. Среднечастотная индукционная печь использует тиристорный частотный преобразователь в роли источника среднечастотного электричества. При помощи выпрямителя трехфазный переменный ток преобразуется в постоянный ток. И, после преобразования инвертером постоянного тока в однофазный среднечастотный переменный, ток подается в печь. По принципу электромагнитной индукции, рабочие детали кладут в переменное магнитное поле для создания вихревых токов, которые используются для плавки. Среднечастотные индукционные печи используют источники питания типа KGPS и IGBT и одно или двухшинное питание. Работа печи управляется через ПЛК.

Среднечастотная индукционная печь использует электромагнитную индукцию для нагрева сырья. Благодаря нагреву, производимого на самом сырье, печь обеспечивает быстрый нагрев, малый объем окислации и высокую эффективность нагрева. Металлические материалы нагреваются однородно, сокращая разницу температур разных частей детали. Кроме того, температура нагрева строго регулируется системой управления температурой, гарантируя повторяемость продукта. Поверхность металла может поменять цвет, но первоначальный цвет можно придать после легкой полировки. Благодаря высокой эффективности нагрева, среднечастотные индукционные печи потребляют меньше энергии и экологически безвредны. Печи высоко автоматизированы, благодаря чему, они имеют более высокую производительность. Печи имеют быстро заменяемые коннекторы водяных и электрических систем. Благодаря этому, корпус печи может быть быстро заменен в соответствии с требованиями различных рабочих деталей. Печи имеют широкий спектр защитных механизмов. Пусковая система позволяет запускать печь даже при перегрузке по напряжению или току, обрыве фазы.

Индукционные среднечастотные печи широко применяются в промышленности для плавки черных и цветных металлов. Эти плавильные устройства обладают большими достоинствами, а именно: возможность получения весьма чистых металлов и сплавов точно заданного состава; стабильность свойств получаемого металла, благодаря хорошему перемешиванию расплава; малый угар металла и легирующих элементов; высокая производительность, за счет высокой скорости плавления; возможность полной автоматизации; хорошие условия труда; малая степень загрязнения окружающей среды.

### 1.3.1. Принцип работы индукционных печей.

В основе работы индукционной печи лежит трансформаторный принцип передачи энергии индукцией от первичной цепи ко вторичной. Подводимая к первичной цепи электрическая энергия переменного тока превращается в электромагнитную, которая во вторичной цепи переходит снова в электрическую, а затем в тепловую.

Одной из важнейших составляющих индукционной печи является индуктор. Индуктор по сути — это катушка, только проводниками в нем, исходя из конструктивных требований плавильных печей, служат не обычные провода, а медные трубки. Ток, проходящий в индукторе, порождает магнитное поле, воздействующий на тигель, в который помещен металл. В данном случае металл исполняет роль вторичной обмотки трансформатора, то есть, в нем наводится ток, при прохождении которого металл нагревается и, дойдя до определенной температуры, начинает плавиться.

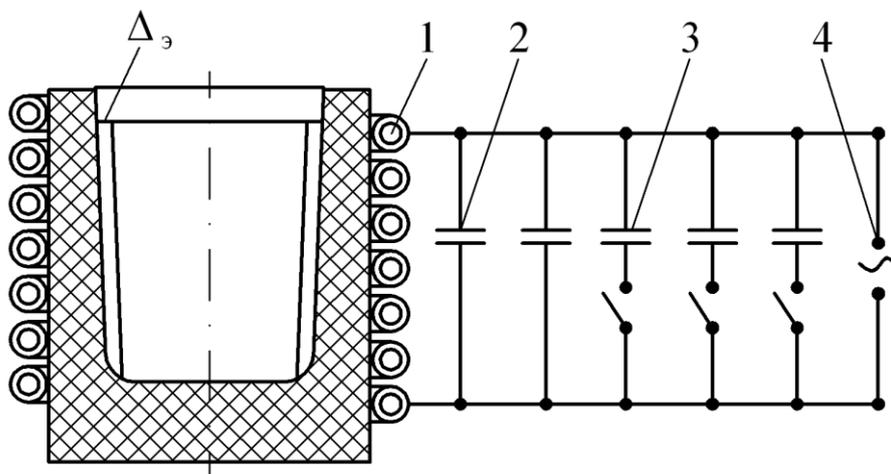


Рисунок 3. – Принципиальная схема индукционной печи: 1 –индуктор; 2, 3 –конденсаторы; 4 –источник питания

Переменный ток от источника питания 4, проходя по виткам индуктора 1, создает переменное электромагнитное поле. Электромагнитные волны проникают внутрь электропроводной загрузки тигля на глубину  $\Delta_{\text{э}}$  (называемую глубиной проникновения) и возбуждают в поверхностном слое шихты переменный электрический ток, который и приводит к нагреву и плавлению металла. Та часть энергии электромагнитного поля, которая не была поглощена шихтой, взаимодействует с витками индуктора, индуцирует в них реактивный ток. Этот ток направлен навстречу току источника питания и отстает от него по фазе на  $90^\circ$ . Таким образом, часть энергии, излучаемой индуктором в течение каждого периода (реактивная мощность), возвращается в него с опозданием по фазе на  $90^\circ$ . Эта реактивная мощность циркулирует между индуктором и источником питания.

### 1.3.2. Устройство индукционной печи.

Индукционная среднечастотная печь состоит из основных элементов (индуктора, футеровки, каркаса, механизма наклона) и может быть оборудована дополнительными устройствами (крышкой с механизмом подъема и поворота, магнитопроводом или магнитным экраном, рабочей площадкой).

Каркас индукционной тигельной печи 5 может поворачиваться вокруг оси 1 для слива металла под действием гидравлических цилиндров. Индуктор 3 опирается на магнитопроводы 4, представляющие собой пакеты трансформаторной стали. Магнитопроводы служат для замыкания внешнего магнитного поля индуктора и позволяют, таким образом, избежать нагрева металлоконструкций, расположенных рядом с индуктором. Кроме того, они обеспечивают жесткость индуктору. Набивной из спекаемых огнеупорных масс тигель 7 закрывается крышкой 2. Подводы воды и тока к индуктору осуществляются гибкими водоохлаждаемыми кабелями и шлангами 6. При замерах температуры, отборе проб, вводе присадок плавильщик находится на рабочей площадке печи 8.

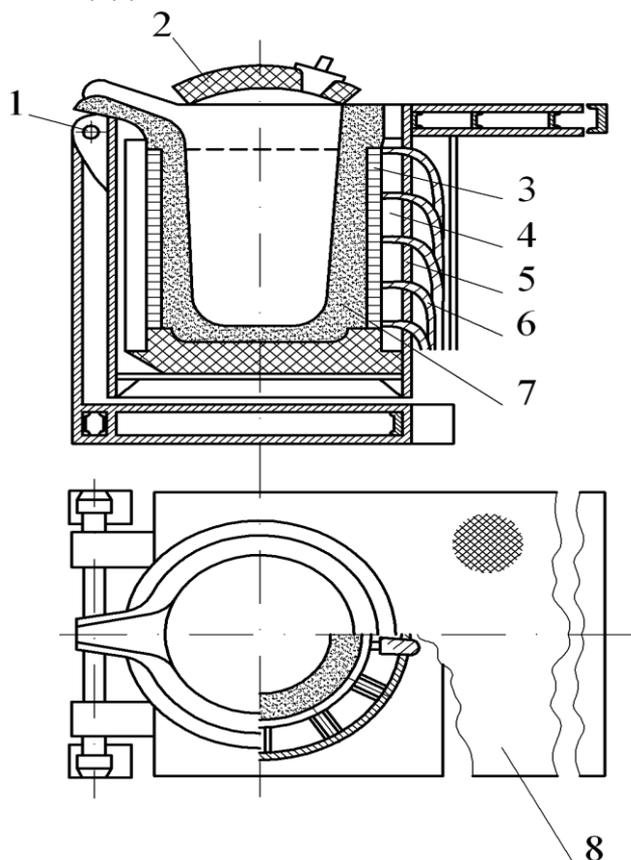


Рисунок 4 - Схема индукционной печи среднечастотной частоты  
1 – поворотная ось печи; 2 – крышка; 3 – индуктор; 4 – магнитопроводы;  
5 – каркас печи; 6 – водоохлаждаемые кабели и шланги; 7 – тигель; 8 – рабочая площадка.

### 1.3.3. Индуктор.

Индуктор предназначен для создания переменного магнитного поля заданной напряженности, а также является важным элементом крепления тигля, удерживающим его от смещения при наклоне печи для слива жидкого металла. Поэтому конструкция индуктора должна удовлетворять не только электротехническим требованиям, но также и требованиям механической жесткости и прочности при действии сил, стремящихся сдвинуть тигель.

Индуктор изготавливают из медной трубки специального профиля. Это необходимо для того, чтобы обеспечить минимальные электрические потери; разместить на длине индуктора расчетное число витков; пропустить через живое сечение отверстия трубки расчетное количество охлаждающей воды.

Индуктор представляет собой цилиндрическую катушку, образованную либо винтообразно навитой медной трубкой с постоянным углом наклона, либо плоскими витками, соединенными между собой короткими наклонными участками трубки. Преимуществом первой конструкции является простота навивки индуктора. Во втором случае, хотя изготовление индуктора сложнее, торцы индуктора оказываются плоскими и их конструктивно проще крепить между стяжными плитами.

### 1.3.4. Футеровка.

Печи, в которых производится нагревание металлов при различных металлургических процессах, устраиваются из материалов, обеспечивающих их прочность и устойчивость — кирпича, чугуна и железа. Но все эти материалы не в состоянии противостоять действию высокой температуры, при которой совершаются эти процессы, неизбежным колебаниям температуры и влиянию химических реакций, их сопровождающих. Ввиду этого, все рабочие пространства печей, приходящие в соприкосновение с металлом или газами высокой температуры, одеваются изнутри слоем огнеупорных материалов, которые и защищают от разрушения остальной массив печи. Эта внутренняя огнеупорная одежда печей называется их футеровкой.

Применяемые материалы и требования для футеровки сливного носка печи

1. Футеровку сливного носка плавильной печи производят до выполнения футеровки индуктора.
2. Очистить корпус сливного носка от старой футеровки, посторонних предметов и мусора.
3. Обклеить в один слой внутреннюю поверхность сливного носка теплоизоляционным листовым материалом.
4. Произвести подготовку к выполнению футеровки сливного носка.
5. Приготовить водный раствор огнеупорного бетона марки LCF47A - FR.

6. Периодически добавляя воду в массу, производить перемешивание смеси в течение 20 – 25 мин до получения консистенции раствора средней текучести.

7. Заполнить раствором бетона промежутки между стенками носка и шаблоном.

8. Произвести уплотнение смеси до прекращения выделения из него пузырьков воздуха.

9. Произвести естественную сушку футеровки при температуре воздуха в цехе (15° - 30° С) до затвердевания (схватывания) бетона (в течение 2 – 3 часов).

10. Продолжить естественную сушку футеровки в течение 24 часов.

Применяемые материалы и требования для футеровки индуктора.

Футеровку индуктора следует, по возможности, проводить с применением сухой огнеупорной смеси марки Silica mix 4A 0,8, которая поставляется в готовом виде в бумажных мешках и не требует дополнительной подготовки.

1. Произвести оклеивание в один слой поверхности обмазки индуктора и внутренней поверхности нижнего и верхнего бетонных колец электротеплоизоляционным рулонным материалом марки Mica Combiaper CM 30 SRPc помощью силиконового герметика.

2. Наложить сверху в вертикальном положении приготовленную полосу на оклеиваемую поверхность стороной с нанесенным на нее клеем и, разглаживая руками обратную сторону от ее середины к краям для удаления пузырьков воздуха, приклеить к этой поверхности.

Футеровка дна печи (выполнение пода тигля)

1. Открыть подготовленные мешки с огнеупорной смесью марки Silica mix 4A 0,8 при помощи острого ножа, не допуская попадания кусков упаковки в смесь.

2. Подавая смесь внутрь печи с помощью ведер, насыпать на дно первый слой пода толщиной 125 – 150 мм; поверхность слоя выравнять с применением уровня.

3. Используя мостовой кран, опустить в печь пневматический вибратор, произвести его центрирование в подвешенном состоянии, а затем, после выполнения центровки, опустить на дно.

4. Включить вибратор на 8-10 мин.

5. Удалить из печи вибратор и произвести ручную деаэрацию (разрыхление поверхности) уплотненного слоя, используя ручную игольчатую трамбовку.

6. Повторить все действия, кроме деаэрации уплотненного слоя, доведя толщину подины (пода) до 300 мм.

## Футеровка индуктора (выполнение стенок тигля)

1. Используя мостовой кран, опустить в печь цилиндрический шаблон, ориентируясь выдерживая его соосность с печью, после чего в частично подвешенном состоянии тщательно притереть к поду, производя крутильные колебания влево - вправо.
2. Используя рулетку и деревянные клинья, произвести более точное центрирование шаблона, выдержав разницу в значениях ширины кольцевой полости между его наружной поверхностью и поверхностью обмазки индуктора не более 5 мм.
3. Произвести ручную деаэрацию подины вокруг шаблона, а затем насыпать слой огнеупорной массы Silica mix 4A 0,8 высотой 50 – 100 мм и тщательно (до ощущения металлического звона) утрамбовать его вручную; произвести деаэрацию поверхности нанесенного слоя.
4. Заполнить полностью кольцевую полость огнеупорной массой Silicamix 4A 0,8.
5. Произвести подготовку к проведению уплотнения заполненной массы пневматическим вибратором.
6. Опустить вибратор внутрь шаблона и включить его в работу.
7. Произвести уплотнение стенки тигля, равномерно поворачивая вибратор внутри шаблона в течение не менее одной минуты до завершения каждого круга на одном высотном уровне и изменяя значение высоты уровня каждым последующим перемещением вибратора вверх не более чем на 100 мм. По мере уплотнения массы ее необходимо добавлять так, чтобы ее уровень после прекращения вибрации совпадал с уровнем воротника печи.
8. На расстоянии 250 мм от верха печи вибратор необходимо выключить и поднять наверх, а уплотнение оставшейся части завершить ручную ударами сверху ручных трамбовок по самой смеси.

Применяемые материалы и требования для футеровки крышки печи.

1. Для футеровки крышки печи использовать огнеупорный бетон марки LCF 47A - FR.
2. Обклеить в один слой внутреннюю поверхность крышки листовым теплоизоляционным материалом с помощью силиконового герметика.
3. Очистить корпус крышки от старой футеровки, посторонних предметов и мусора, а затем, исходя из размеров листа теплоизоляционного материала, выполнить мелом разметку на внутренней поверхности в виде круговых сегментов и пронумеровать их.
4. Из листов теплоизоляционного материала вырезать круговые сегменты соответственно выполненной разметке на крышке и с расчетом их установки по этой разметке встык.
5. Футеровать крышку огнеупорным бетоном.
6. Приготовить водный раствор огнеупорного бетона.

7. Периодически добавляя воду в массу, производить перемешивание смеси в течение 20 – 25 мин до получения консистенции раствора средней текучести.

8. Заполнить полость крышки раствором бетона.

9. Произвести уплотнение бетона в полости крышки при помощи пневматического вибратора до прекращения выделения пузырьков воздуха.

10. С началом затвердевания (схватывания) бетона произвести ручную с применением мастерка и шпателей механическую обработку его наружной поверхности для придания ей вогнутой формы, соответственно кривизне внутренней поверхности корпуса крышки.

11. Произвести естественную сушку футеровки при температуре воздуха в цехе (15° - 30°С) в течение 24 часов.

#### 1.3.5.Каркас.

Каркас является основой для крепления всех элементов печи. Каркас чаще всего изготавливают из стальных изолированных друг от друга частей. Иногда целесообразно снизить вблизи каркаса напряженность магнитного поля. Это может быть достигнута установкой между индуктором и каркасом магнитопроводов или магнитных экранов.

#### Механизм наклона

Для печей малой емкости используют механизмы, состоящие из лебедки с ручным или электромеханическим приводом и троса, перекинутого через блок. Более крупные печи наклоняют при помощи тельфера, сцепляя его крюк с серьгой, укрепленной на каркасе. Крупные печи оборудуют гидравлическим приводом наклона, в принципе аналогичным гидравлическому приводу наклона дуговых печей.

## 2. Технологический раздел

### 2.1. Разработка мероприятий по снижению брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40

В современном металлургическом производстве для выплавки высокопрочных чугунов применяются индукционные среднечастотные тигельные печи с кислой и нейтральной набивной футеровкой. Наибольшее распространение ввиду низкой стоимости и простоты технологии изготовления получили кислые набивные футеровки на основе  $\text{SiO}_2$  с добавлением в качестве связующего материала  $\text{B}_2\text{O}_3$ . По способу выплавки чугунов все технологии можно разделить на метод переплава высокопрочных отходов (возвратных материалов) и метод сплавления с обязательными операциями печного легирования для корректировки состава сплавов.

Технологический процесс плавки в индукционной печи включает следующие операции: загрузку шихты, нагрев и расплавление ее, перегрев, науглероживание и доведение химического состава чугуна до заданного, а также термовременную обработку (выдержку). Загружаемая шихта частично погружается в расплав, создавая сплошную электропроводную среду, в которой индуктором наводятся вихревые токи. Загрузка в жидкий металл (остаток от предыдущей плавки, называемый зумпфом или «болотом») необходима потому, что при использовании электрического тока промышленной частоты в дискретных элементах шихты наведение вихревых токов малоэффективно. Вихревые токи разогревают металл, и он плавится. Масса зумпфа достигает до 50 % от общей массы металла в печи (емкости печи) и соответственно влияет на длительность периодов плавки. При этом загрузка в «болото» может осуществляться в несколько стадий.

### 2.2. Подготовка оборудования, оснастки к работе.

Плавку производить в индукционной печи с кислой футеровкой.

Техническое состояние печей, включая требования к футеровке, электрическому и механическому оборудованию, должно обеспечивать возможность ведения технологического процесса плавки.

Выпуск металла производить в крановый ковш, предварительно нагретый до тёмно-красного свечения (на газовом стенде).

Температуру металла определять в печи и ковше с помощью термопары.

Техническое состояние контрольно-измерительной аппаратуры должно обеспечить достоверность получаемых результатов измерений с точностью  $\pm 10^\circ \text{C}$ .

### 2.3. Подготовка шихтовых материалов.

К началу плавки должно быть подготовлено достаточное количество габаритного лома и все необходимые ферросплавы.

В процессе плавки и разливки металла используют следующие материалы или их аналоги:

- чугун переделный;
- лом стальной 1А–3А, 14А–16А ГОСТ 2787-86;
- модификатор FeSiMg611 ТУ 0826-002-72684889-09;
- графит искусственно измельченный марки А фр. 0-10мм (ГИИ-А);
- возврат ВЧ собственного производства;
- ферросилиций ФС45 - ФС75 ГОСТ 1415-93;
- ферромарганец ФМн70 - ФМн78, класс А ГОСТ 4755-91;
- сода кальцинированная техническая ГОСТ 5100-85.

В процессе плавки применяются следующие материалы:

- чугун переделный ГОСТ 2787-86; Шихтовые материалы, поступающие на участок для плавки, складировать и хранить в сухих, закрытых помещениях отдельно по маркам. На все шихтовые материалы и ферросплавы должны быть сертификаты или данные контрольного химического анализа, предоставляемые при поступлении контролеру СК.

Ферросплавы применять в измельченном состоянии, массой 0,5 - 5,0 кг.

Лом чугунный, стальной, цветные шихтовые материалы, возвраты собственного производства не должны быть горелыми, проржавленными, разъеденными кислотами, местный налет ржавчины допускается. Засоренность безвредными примесями не должна превышать 1,0 %. Размеры и масса кусков чугунного и стального лома – в соответствии с требованиями ГОСТ 2787- 86. Рекомендуется стальной и чугунный лом разделять так, чтобы максимальный габаритный размер куска был не более 400 мм. Все шихтовые материалы применять очищенными от песка, формовочной смеси и пригара.

Непосредственно предназначенные для загрузки в тигель шихтовые материалы должны быть сухими (визуально), при необходимости подогреваются газовой горелкой.

Перед загрузкой в печь шихтовые материалы должны взвешиваться в соответствии с требуемым составом шихты выплавляемого металла, после чего загружаться в печь. Загрузку крупных кусков шихты производить мостовым краном. Куски малого размера загружать в печь с помощью вибрационно-загрузочной машины ПВБП - 0,63/3.

#### 2.4. Порядок расчета шихты.

Расчёт количества шихты на плавку и запись в плавильный журнал должен производить плавильщик металла.

Для расчёта потребного количества шихтовых материалов на плавку использовать следующие данные:

- химический состав чугуна (см. таблица 1);
- содержание химических элементов в шихтовых материалах, предназначенных для выплавки;
- нормы расхода материалов на выплавку ВЧ40.

При выплавке чугуна в расчете шихты использовать величины угара и пригара элементов, указанных в таблице 3.

Таблица 3. Величины угара и пригара элементов

| Плавильный агрегат      | Футеровка | Угар элементов, % от содержания в шихте |         |           |         |    |
|-------------------------|-----------|---|---------|-----------|---------|----|
|                         |           | C                                       | Si      | Mn        | Cr      | Ni |
| Печь индукционная FS-30 | Кислая    | -3...-5                                 | -3...+5 | -15...-20 | -3...-5 | 0  |

Примечание: знак «-» перед числом означает угар элемента, знак «+» – пригар элемента.

Металлическая завалка.

Рекомендуемый состав шихты для плавки высокопрочного чугуна марки ВЧ40 приведен в таблице 4.

Таблица 4. Рекомендуемый состав шихты.

| Наименование шихтового материала  | Вес, кг | Вес, % |
|---|---------|--------|
| Чугун передельный   | 400     | 40     |
| Стальной лом и отходы: пакеты №1 марки 8А, пакеты №2 марки 9А   | 300     | 30     |
| Возврат собственного производства (литники, прибыли, скрап, брак отливок)   | 300     | 30     |
| Модификатор FeSiMg611 до 1,6% от объема модифицируемого сплава (В среднем 1,0-1,2% модификатора на 350кг металла) |         |        |
| Ферросплавы, карбюризаторы и другие присадки согласно технологических указаний, сверх 100 %.                      |         |        |

#### 2.5. Загрузка шихты в печь.

Перед загрузкой в печь шихта и ферросплавы подогреваются газовой горелкой. Плавильщик металлов должен убедиться (визуально), что все шихтовые материалы, загружаемые в тигель печи сухие.

После загрузки каждой порции шихты тигель рекомендуется закрывать крышкой с целью уменьшения рассеивания тепла.

Переполнение тигля печи шихтой не рекомендуется, так как это ведёт к увеличению расхода электроэнергии.

Перед загрузкой шихты печь необходимо отключать. Загрузку шихты в печь следует производить при отключенной печи.

Загрузка шихты в печь производится вручную или с помощью завалочной машины ПВПБ 0,63. Задачу мелкого лома в жидкий металл следует производить с помощью завалочной машины ПВПБ 0,63.

Перед загрузкой твердой шихты в тигель с жидким металлом, (наличие «болота», обычно 400 кг) поверхность жидкого металла в тигле следует

предварительно «захолодить» завалкой мелкого лома (бракованные отливки, литники и т. д.).

Оставшиеся на краю тигля куски мелкой шихты следует сбрасывать в тигель с помощью лопаты совковой.

Загрузку средних и больших тяжёлых кусков металла следует производить осторожно, чтобы тигель печи не подвергался сильным ударам, в результате которых он мог бы получить механические повреждения.

Средние и крупные куски лома (особенно на жидкий металл) рекомендуется загружать с помощью грузозахватных приспособлений.

После каждой загрузки шихты следует куски шихты подправлять так, чтобы они не заклинивались и не зависали над жидким металлом (не образовывался «мост»). При произвольном падении кусков в жидкий металл, при разрушении моста может произойти выброс металла из тигля.

При загрузке печи все шихтовые материалы должны укладываться по возможности плотнее. Пространство между крупными кусками шихты необходимо заполнять мелкими.

Не допускается грубое уплотнение («утрамбовывание») шихты, (грузом с помощью крана и т.д.), так как это может привести к повреждению футеровки печи.

Для обеспечения безопасной загрузки шихты в тигель печи следует использовать разделанную шихту. Габариты загружаемого лома не должны быть более 400 мм (за исключением использования целой изложницы или кусков, по габаритам и конфигурации соответствующих вместимости тигля).

При добавлении ферросплавов в тигель, наполненный жидким металлом, необходимо загружаемые куски класть на край тигля, а затем сталкивать их с помощью лопаты совковой.

В случае необходимости допускается заливка жидкого металла в тигель, загруженный твёрдой шихтой.

На первых пяти плавках после спекания тигля для сохранения его футеровки шихтовые материалы рекомендуется загружать вручную, соблюдая меры предосторожности. Плавка, во время которой производилось спекание, должна быть отмечена в плавильном журнале.

Порядок загрузки шихты в печь при выплавке чугунов:

- жидкий металл («болото»);
- лом чугуновый;
- ферросплавы и легирующие добавки.

При каждом включении печи с открытой крышкой тигля после загрузки его шихтой следует соблюдать осторожность, так как возможны выбросы металла из печи.

Плавление

На остаток металла в печи, загрузить чугунный лом. При загрузке шихты печь должна быть отключена.

Шихта не должна падать в тигель с большой высоты во избежание его повреждения. Удар шихты о футеровку должен быть боковым, а не верхним, так как в первом случае футеровка работает на сжатие, а во втором на срез, при этом ударной нагрузке подвергается наиболее хрупкая ошлакованная часть футеровки.

Включить печь, приступить к расплавлению шихты. По мере проплавления и оседания садки, не дожидаясь её полного расплавления, на твёрдую разогретую шихту загрузить оставшуюся часть шихты порциями (в зависимости от свободного объёма печи).

Во время расплавления шихты следует регулярно осаживать шихту с целью исключения сваривания отдельных кусков, образования «мостов» препятствующих опусканию шихты в зону плавления. Осаживание шихты производить с помощью стального ломика осторожно, чтобы не вызвать выброса металла и не повредить футеровку тигля, печь должна быть отключена.

Скачивание шлака необходимо проводить по мере расплавления шихты, что обеспечивает высокую производительность печи в режиме плавки и уменьшает износ футеровки.

После полного расплавления шихты ввести в печь согласно шихтовки необходимые ферросплавы, карбюризатор, при необходимости загрузить возврат собственного производства.

Уровень металла после расплавления всей шихты не должен доходить до верха тигля на 100 - 200 мм.

Выключить печь, скачать шлак в шлаковню.

Залить пробу в кокиль для образцов на экспресс анализ для определения химического состава по расплавлению.

Залитую пробу сдать на экспресс анализ в лабораторию цеха.

Продолжительность экспресс анализа составляет около 15 минут.

После получения результатов экспресс-анализа занести полученные данные в плавильный журнал. При необходимости скорректировать содержание углерода, серы, кремния и марганца в расплаве необходимыми материалами.

Включить печь, довести температуру металла до 1440 – 1460 °С и выдержать при этой температуре в течение 5 – 10 минут для создания однородной структуры расплава и уменьшения вредного влияния наследственности шихтовых материалов.

После всех доводок до нужного химического состава, заливается проба для определения окончательного химического анализа чугуна с записью в плавильный журнал.

Измерение температуры жидкого металла.

Температура жидкого металла замеряется:

- в печи с помощью регистрирующего измерительного преобразователя ДИСКОГРАФ Ш932.9А-29.010;

- в ковше перед разливкой с помощью прибора для измерения температуры жидких металлов Digilance IV.

Для замера температуры в обоих случаях используют преобразователи термоэлектрические одноразового применения Heraeus серии Positherm или аналогичные.

2.6. Выпуск металла из печи.

Выпуск чугуна производить в ковш, предварительно нагретый до тёмно-вишнёвого цвета с помощью газовой горелки.

В начале слива металла из печи в ковш, а также при простое ковша более 20 минут, прогревать ковш методом холостого перелива с выдержкой металла в ковше в течение 1 минуты.

Температура чугуна при выпуске из печи - в соответствии с действующими технологическими указаниями на отливку.

При выпуске металла из печи в ковш производить его модифицирование с помощью модификатора FeSiMg611.

Перед началом плавки заливщик металла должен подготовить необходимое количество модификатора FeSiMg611 на плавку и прогреть в металлическом тазе газовым факельным запальником в течение не менее 1 часа.

В ковш, к стенке, которая при выпуске металла будет обращена к печи, задать модификатор. Слить расплавленный металл в ковш. Скатать шлак.

Произвести заливку пробы на определение химического состава чугуна – с каждого ковша. Для определения химического состава чугуна, а так же химического состава с каждого ковша после модифицирования, использовать пробу, залитую в кокиль для заливки образцов. Полученную пробу сдать в лабораторию для проведения анализа. Для определения содержания углерода залить скрапину. Отбор пробы для анализа на углерод производится путем быстрого рассеечения березовой метлой струи жидкого металла, сливаемого с ложки для взятия пробы в стальное ведро, на  $\frac{1}{2}$  наполненное водой. После этого вода из ведра сливается в технологическую тару, оставшуюся на дне скрапину высушивают и сдают в лабораторию для анализа.

Дождаться получения результатов. При отклонениях произвести корректировку химического состава и повторно сдать пробу. Полученный результат зафиксировать в плавильном журнале.

При простое готового металла в печи необходимо сдавать в лабораторию пробу на содержание углерода каждые 2 часа. Дождаться получения результатов, при необходимости произвести корректировку по содержанию углерода.

Лаборанты производственной лаборатории производят отметку в «Журнале для записи результатов анализа чугуна» о времени сдачи пробы «на углерод». Сообщают результаты проверки плавильщику.

Заливщику подать ковш с металлом к заливаемой форме. Замерить температуру металла в ковше, при необходимости выдержать металл в ковше до необходимой температуры согласно действующим технологическим указаниям. При этом нужно учитывать время живучести модификатора.

#### 2.6.1. Заливка форм.

Заливку форм производить с помощью термозащищенных электронных крановых весов. После выпуска металла из печи заливщик металла должен снять шлак с поверхности металла в ковше деревянным скребком или металлической ложкой в шлаковую колоду.

Во время заливки необходимо держать сливной носок ковша на высоте не более 300мм. (примерно) от литниковой воронки.

Заливку форм рекомендуется вести так, чтобы литниковая чаша (или воронка) во время заливки формы была полностью заполнена металлом во избежание захвата в форму воздуха и всплывших шлаковых включений с поверхности металла. Металл лить в воронку непрерывной и ровной струей, для обеспечения этого носок ковша должен быть хорошо заправлен.

Для ликвидации утечек металла при пробое формы во время заливки производить «примораживание» металла при помощи стального прутка. Прекратить заливку, когда расплав выйдет в выпора. Определять визуально.

Произвести идентификацию залитых форм с каждого ковша, для этого необходимо сразу после заливки вставлять в литниковую воронку металлическую ленту с указанным на ней номером плавки и номером ковша, например: 1000/3, где 1000 – номер плавки, 3 – номер ковша.

Заливку проб для определения временного сопротивления чугуна на разрыв производить в середине (3-4 ковш) разливки металла с плавки. После заливки произвести выбивку образцов и их обрубку. Все образцы маркировать маркером, указывать номер плавки и номер ковша, например: 1000/3, где 1000 – номер плавки, 3 – номер ковша. Сдать пробники в лабораторию.

Остаток металла из ковша сливать в кокиль для чушки.

После получения результатов химического анализа 1-го ковша произвести корректировку элементов по кремнию и магнию (если требуется). С каждого последующего последующего ковша брать пробу для определения химического состава в лаборатории (при необходимости делать корректировку по кремнию и магнию).

С момента начала слива металла в ковш и до окончания заливки последней отливки должно пройти не более 10 минут (время живучести модификатора).

## 2.6.2. Охрана окружающей среды.

Скрап, образующийся при разливке металла, возвращается в производство на переплавку.

Шлак в процессе производства металла сливается из печи и с ковша специально предназначенную для этого шлаковую колоду.

После остывания шлак выгружается из шлаковой колоды в контейнер.

Шлак накапливается в контейнере и вывозится на специально отведенный для этого полигон.

Использованная футеровка также вывозится вместе со шлаком на полигон.

## 2.7. Методы контроля

1. Во время плавки следует контролировать температуру расплава в печи перед разливкой термопарой погружения.

2. По ходу плавки необходимо производить отбор проб для экспресс-анализа химического состава чугуна.

3. Химический состав чугуна определять на спектрометре Аргон -5, содержание углерода и серы методом сжигания раздробленной или литой скрапины на экспресс анализаторе АН 75-29.

4. Химический анализ следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 27611-88, содержание углерода - согласно ГОСТ 2604.1-77 или другими методами, обеспечивающими точность определения, предусмотренную указанным стандартом.

## 2.8. Формовка отливок на смеси ХТС.

Для литья в формы ХТС применяется опочная литейная оснастка из МДФ, модельных пластиков или композитных материалов. Для крупных серий используется оснастка из алюминия или других металлов. Модельная оснастка повторяет форму отливки с учетом литейной усадки. Ее изготовление на станках с ЧПУ и подбор технологии формовки позволяют получать криволинейные поверхности, не требующие дополнительной обработки. В результате получаются отливки с классом точности ЛТ3-ЛТ4, что соответствует погрешности в 0,2-0,5 мм. После пропитки упрочняющим составом модельная оснастка выдерживает несколько тысяч съёмов. Простые формы состоят из двух полуформ. Для оформления внутренних полостей изготавливаются стержневые ящики.

Проектирование отливок и модельной оснастки должно выполняться опытными инженерами. Качественная оснастка позволяет избежать многих проблем в литье - начиная от пор и раковин, и заканчивая смещениями и другими дефектами формы.



Рис. 5 – Модель для изготовления отливок ХТС.

Перед заполнением формы формовочной смесью оснастка покрывается разделительным составом. Он обеспечивает легкое отделение оснастки от ХТС с сохранением формы детали. Все компоненты, входящие в состав формовочной смеси, перемешиваются в смесителе, затем смесь засыпается в опоки. В верхней полуформе устанавливаются прибыли, стояк для заливки металла и газоотводы. Смесь в опоках уплотняется на вибростоле и выдерживается в течение определенного времени. После сборки формы выставляются на столы плавления - заливочного участка, пригружаются грузами и ожидают заливки металлом. Стояки, прибыли и наружные газоотводы закрыты плотной бумагой во избежание попадания внутрь формы неметаллических включений (пыль, песок, остатки смеси ХТС).

2.9. Виды брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40 и способы их устранения.

Основным видом брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна являются газовые раковины закрытого типа, которые вскрываются после механизированной обработки отливок.



Рис. 6 – Газовые раковины после мехобработки.

Усадочные раковины могут быть как открытого, так и закрытого типа. Явление усадки вызвано сокращением объема и линейных размеров отливки в форме в период застывания залитого металла. Для устранения этого дефекта нужно использовать различные методы борьбы: направленная кристаллизация, т.е. установка наружных и внутренних холодильников, рассмотрение подходящей литниково-питательной системы, установка прибылей, дополнительных наколов и газоотводов, выполнение расчётной вентиляции форм (стержней) и подвода металла. При изготовлении деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40 с наименьшим процентом брака следует обратить особое внимание на:

- соответствие материалов, применяемых для выплавки чугунов, сертификатам и требованиям инструкции;
- подготовку компонентов шихты и ферросплавов для выплавки чугуна;
- процесс выплавки металла в тигле печи;
- режим спекания тигля на первой плавке после набивки;
- установку пенокерамических фильтров в формы для предотвращения попадания шлака и НВ;
- снижение или возможную ликвидацию влаги в формах, стержнях;
- снижение простоя собранных форм и готовых стержней;

- правильный выбор места подвода питателей литниково-питательной системы;
- строгое соблюдение температурных параметров при выпуске и разливке металла.

## **Заключение**

В данной выпускной квалифицированной работе была представлена разработка мероприятий по снижению брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна марки ВЧ 40.

Для разработки мероприятий были решены следующие задачи:

- исследован химический состав высокопрочного чугуна;
  - проанализированы технические условия для выплавки высокопрочного чугуна;
  - выбран агрегат для выплавки высокопрочного чугуна;
  - предоставлен порядок расчёта шихты и легирующих элементов;
  - рассмотрены основные виды брака при производстве деталей из высокопрочного чугуна, даны рекомендации по их устранению;
- Данная разработка мероприятий является более рациональной для снижения брака при производстве деталей из легированного чугуна.

### Список литературы

1. Metallurgical technologies: a textbook / Yu.N. Simonov, S.A. Belova, M.Yu. Simonov; Perm National Research Polytechnical University. – Perm: Perm State Technical University, 2013. – 304 p.
2. Baryshev, G.A. Materials Science: a lecture notes / G.A. Baryshev. – Tambov: Tambov State Technical University, 2007. – 140 p.
3. Materials Science. Laboratory practice. Compiler L.M. Gurevich, A.F. Trudov. – Volgograd State Technical University. – Volgograd, 2005. – 103 p.
4. Ivanov V.N. Dictionary-reference on casting production. – M.: Mashinostroyeniye, 1990. – 384 p. ISBN 5-217-00241-7, 1990
5. N. D., Titov, Yu. A. Stepanov. «Technology of casting production». M. 1985 g.
6. Korotich V.I. Fundamentals of metallurgy: a textbook for universities / Ekaterinburg: UGTU, 2000. – 392 p.
7. Trukhov A. P. Casting alloys and melting: a textbook for students of higher educational institutions / M.: Akademiya, 2005. – 336 p.
8. Laxtin Yu. M. Materials Science / M.: Mashinostroyeniye, 1990. – 525 p.
9. Bobryakov G.I. Development of cast iron production in automobile industry of Russia / Casting production, 1999. -№ 8.

