

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 технологического процесса выплавки чугуна марки ЧН16Д6Х2».

Студент \_\_\_\_\_ / Краев К.А. /

Состав ВКР:

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

Руководитель \_\_\_\_\_ / Гусельникова Л.Н. /

Лысьва, 2019г.

## **Аннотация**

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

Выпускная квалификационная работа изложена на 40 страницах, содержит 8 рисунков, 5 таблиц.

Объектом исследований являлся высоколегированный чугун типа «нирезист» марки ЧН16Д6Х2, а целью работы являлась разработка технологического процесса выплавки этого чугуна.

В данной работе приведен аналитический обзор литературных источников. Рассмотрены химический состав выплавляемого чугуна, механические свойства, основные эксплуатационные свойства, область применения.

Выбран и рассмотрен плавильный агрегат для выплавки данного чугуна.

## Содержание

Содержание .....	3
Введение .....	4
1. Общий раздел .....	5
1.1 Чугун и его разновидности .....	5
1.2 Свойства и применение легированного чугуна типа «нирезист» .....	8
1.3 Индукционная тигельная печь .....	12
2 Технологический раздел .....	25
2.1 Разработка технологического процесса выплавки чугуна ЧН16Д6Х2 .....	25
2.2 Подготовка оборудования, оснастки к работе .....	26
2.3 Подготовка шихтовых материалов .....	27
2.4 Составление и расчёт шихты .....	28
2.5 Загрузка и плавка в индукционной печи .....	35
2.6 Слив металла .....	37
2.7 Методы контроля .....	38
Заключение .....	39
Список литературы .....	40

## Введение

Цель выпускной квалификационной работы состоит в разработке технологического процесса выплавки чугуна марки ЧН16Д6Х2.

Для этого нужно решить следующие задачи:

- исследовать химический состав легированного чугуна;
- проанализировать технические условия для выплавки легированного чугуна;
- выбрать агрегат для выплавки легированного чугуна;
- рассмотреть существующие методы выплавки легированного чугуна;
- рассчитать состав шихты плавки;
- рассчитать количество легирующих элементов;
- рассчитать материальный баланс плавки.

Объектом исследования данной работы является высоколегированный чугун типа «нирезист» марки ЧН16Д6Х2, а предметом изучения технологии выплавки этого чугуна.

Актуальность темы исследования обуславливается необходимостью разработки технологии выплавки и освоение производства отливок из легированного чугуна.

									Лист
									4
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ВВ			



Серыми называются чугуны с пластинчатой формой графита.

По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные (нелегированные) и легированные.

Нелегированные – сплавы сложного состава, содержащие основные элементы: Fe, C, Si и постоянные примеси: Mn, P и S. Содержание этих элементов в серых чугунах колеблется в следующих пределах, % 2,2 – 3,7 C; 1 – 3 Si; 0,2 – 1,1 Mn; 0,02 – 0,3 P и 0,02 – 0,15 S. В небольших количествах в обычных серых чугунах могут содержаться Cr, Ni, и Cu, которые попадают из руды. Почти все эти элементы влияют на условие графитизации, структуры металлической основы и свойства чугунов.

Углерод оказывает определяющее влияние на качество чугунов, изменяя количество графита и литейные свойства. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита и ниже механические свойства чугуна. По этой причине максимальное содержание углерода ограничивается доэвтектической концентрацией. В то же время снижение его содержания сказывается на жидкотекучести, и следовательно на литейные свойства чугунов. Нижний предел углерода принимают для толстостенных отливок, верхний – для тонкостенных.

Кремний обладает сильным графитизирующим действием; способствует выделению графита в процессе затвердевания чугунов и разложению выделившегося цементита.

Марганец затрудняет графитизацию чугунов, несколько улучшает их механические свойства.

Сера – вредная примесь. Она ухудшает механические и литейные свойства чугунов: понижает жидкотекучесть, увеличивает усадку и повышает склонность к образованию трещин.

Фосфор в количестве до 0,3% растворяется в феррите. При большей концентрации он образует с железом и углеродом тройную «фосфидную» эвтектику. Она имеет низкую температуру плавления (950<sup>0</sup>C), что увеличивает жидкотекучесть чугунов, но высокую твердость и хрупкость.

						ВКР.2019-ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		6

Таким образом, степень графитизации в чугунах возрастает с увеличением содержания углерода и кремния. Аналогичное, но более слабое влияние оказывают примеси (или легирующие элементы) меди и никеля.

Легируемые – чугуны в состав которых с обычными компонентами специально введены легирующие элементы (хром, никель, медь, титан, молибден и др.), придающие ему прочность, износостойкость, жароупорность, коррозионную стойкость, антифрикционные свойства, немагнитность. Влияние легирующих элементов весьма разнообразно и в настоящее время позволяет применять чугун там, где раньше применялась сталь.

					ВКР.2019-ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись		Дата

## 1.2 Свойства и применение легированного чугуна типа «нирезист»

В настоящее время существует следующая классификация легированных чугунов:

– по количеству легирующих элементов: низколегированные (до 3 % легирующего элемента); среднелегированные (3–10 %) и высоколегированные (более 10 %);

– по назначению: износостойкие, жаростойкие, коррозионностойкие, жаропрочные, немагнитные и антифрикционные;

– по основному легирующему элементу: никелевые (ЧН16Д6Х2); хромистые (ЧХ1, ЧХ16, ЧХ32); кремнистые (ЧС5, ЧС17); алюминиевые (ЧЮ6С5, ЧЮ30) и марганцевые (ЧГ7Х4, ЧГ8Д3).

Чугуны типа «нирезист» представляют собой высоколегированные сплавы на основе железа с содержанием никеля порядка 15 – 20%, меди 6 – 9%, хрома 1 – 2,5% и марганца 1,2 – 2,0%. Общее содержание углерода не превышает 3%. Форма графитовых включений - пластинчатая. Подобное соединение характеризуется высокой устойчивостью при температурах более 700<sup>0</sup>С, что достигается другой характерной особенностью. Эта легированная марка чугуна обладает аустенитной структурой.

Отечественным аналогом «нирезиста» является чугун марки ЧН16Д6Х2 по ГОСТ 7769-82. Высоконикелевые чугуны типа «нирезист» разрабатывались, как специальные марки для сложных фасонных отливок в нефтяном машиностроении и были рассчитаны на тяжелые условия работы в агрессивных пластовых жидкостях при пониженных температурах эксплуатации (до минус 60<sup>0</sup>С).

									Лист
									8
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ОР.ПЗ			





происходящих с присутствием серной кислоты. В газовой промышленности из нирезиста изготавливаются гильзы компрессоров, оболочка клапанов и фильтры.

Износоустойчивость материала находит его применение для изготовления деталей, подверженных трению в процессе работы, например, втулок подшипников, где наблюдается замена бронзы на нирезист. Эта же характеристика сплава нашла применение в машиностроении двигателей в таких деталях, как поршень. Данный механизм также подвержен высокому фрикционному износу и часто используется в агрессивных средах.

					ВКР.2019-ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись		Дата

### 1.3 Индукционная тигельная печь

Высоколегированный чугун типа «нирезист» марки ЧН16Д6Х2 выплавляют в индукционных тигельных печах.

#### Физические основы индукционного нагрева в тигельных печах

Индукционный нагрев может быть использован для нагрева практически любых материалов: сплавов металлов, проводников, диэлектриков, шлаков и газов. Его применение позволяет осуществить передачу теплоты нагреваемому объекту без непосредственного контакта и обеспечить практически любые скорости нагрева при минимальных тепловых потерях в окружающую среду. Уровень допустимых температур определяется только стойкостью применяемых огнеупорных материалов.

Отсутствие непосредственного контакта между электрической цепью и нагреваемым материалом позволяет осуществить нагрев в вакууме или защитной атмосфере. Однако сложное и дорогое электрооборудование и низкая стойкость футеровки при резких колебаниях температур между плавками ограничивают сферу применения данного способами передачи энергии.

В основе индукционного нагрева лежит трансформаторный принцип передачи энергии индукцией от первичной электрической цепи к вторичной. Электрическая энергия переменного тока подводится к первичной цепи индуктора, который представляет собой многовитковую катушку, выполненную из медной профилированной водоохлаждаемой трубки, в результате чего вокруг него формируется переменное магнитное поле. Под его воздействием в нагреваемом материале, помещенном внутрь индуктора, как во вторичной обмотке трансформатора, наводится электрическое поле, линии напряженности которого располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению линий магнитного потока индуктора, и имеют вихревой характер.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата					

Под воздействием этого поля внутренние электрические заряды в расплавленном материале приходят в движение, образуя вихревые токи. Энергия электрического поля необратимо переходит в тепловую, в соответствии с законом Джоуля-Ленца.

Нагрев используемых в качестве шихты ферромагнитных материалов до достижения температуры точки Кюри ( $740-770^{\circ}\text{C}$ ) осуществляется не только за счет вихревых токов проводимости, но и за счет потерь энергии на перемагничивание. После превышения уровня этой температуры, нагреваемые проводники теряют свои магнитные свойства, и работа индукционной печи становится аналогичной работе воздушного трансформатора (без сердечника).

Тепловая мощность, выделяемая вихревыми токами в толще нагреваемого материала, зависит от частоты переменного поля. Для эффективной работы тигельных индукционных печей их питание осуществляют электрическими токами повышенной или высокой частоты, что достигается установкой специальных генераторов, вырабатывающих ток требуемой частоты. Их применение снижает общий КПД установки.

Практически для индукционного нагрева используют следующие интервалы частот:

- 200000 Гц и выше при нагреве стальных деталей диаметром меньше 0,03 м;
- 1000 – 10000 при нагреве стальных изделий диаметром 0,03-0,15 м и толщине закаливаемого слоя 2 мм;
- 50 Гц при термической обработке деталей свыше 0,15 м при нагреве на большую глубину;
- для питания плавильных печей используют 50-10000 Гц.

При частоте до 10000 Гц применяют машинные генераторы, а свыше 10000 Гц – электронно-ламповые.

Относительно большое расстояние между индуктором и металлом в тигле (5-10 см) вызывает появление значительной реактивной мощности, что снижает электрический КПД установки до 0,03-0,1. Для снижения этого

влияния и обеспечения приемлемого КПД индукционные установки снабжают конденсаторными батареями. Наличие этих элементов значительно удорожает стоимость индукционной печи.

Относительная сложность установок индукционного нагрева ограничивает их применение. Поэтому такие агрегаты целесообразно использовать для производства специальных сплавов, получение которых невозможно или экономически невыгодно в дуговых печах, а высокая стоимость получаемого металла позволяет компенсировать возрастающие затраты.

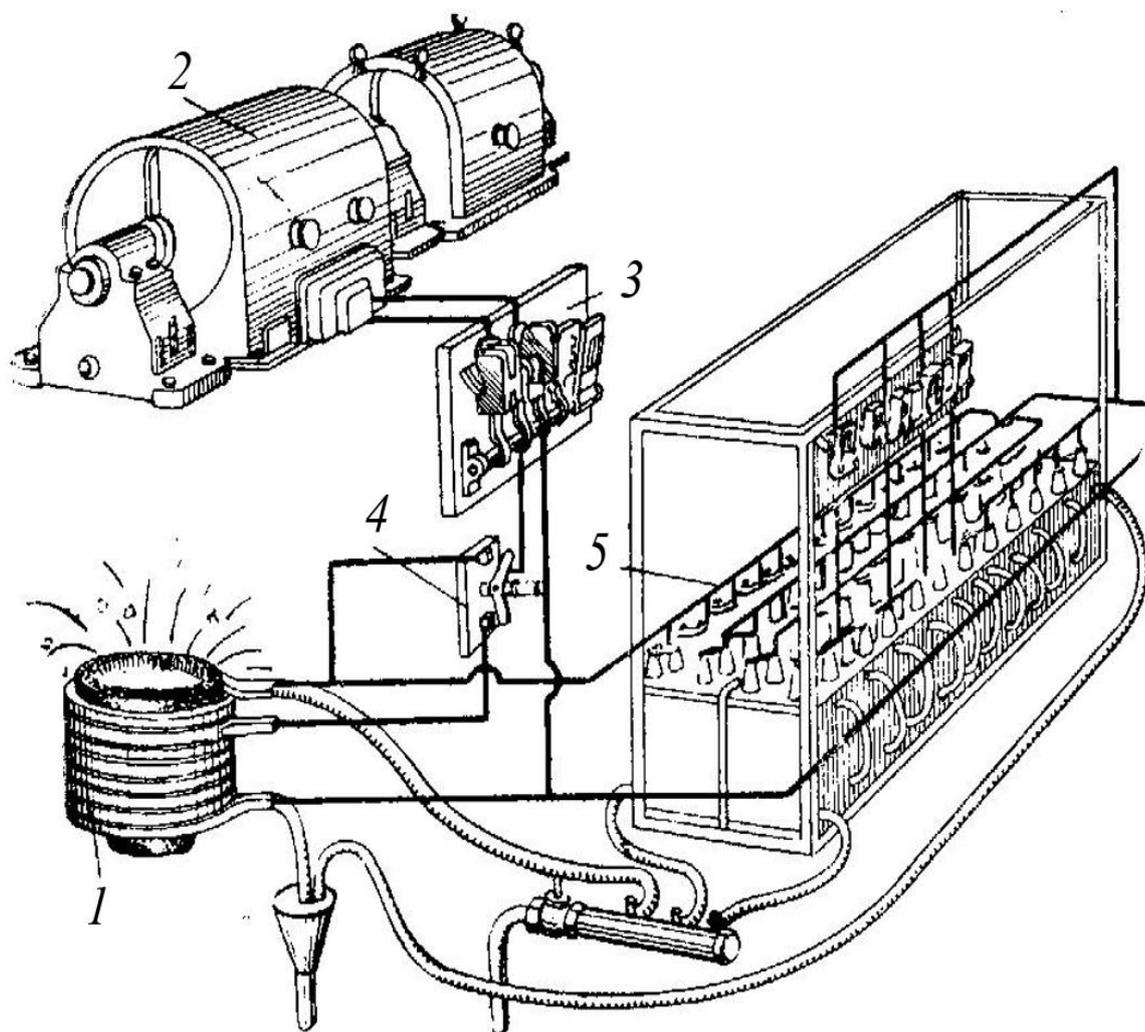


Рисунок 1.3.1—Схема соединения основных элементов тигельной индукционной печи: 1 – индукционная печь; 2 – генератор; 3 – главный контактор; 4 – переключатели числа витков; 5 – конденсаторная батарея с контакторами для подключения емкости в процессе плавки.

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

## Конструкция индукционных тигельных печей

Современная индукционная тигельная печь состоит из следующих основных конструктивных элементов: корпуса с ферромагнитным или электромагнитным экраном, индуктора с водяным охлаждением, изготавливаемого из полый медной трубки, огнеупорной футеровки, вспомогательных устройств (механизм наклона печи, механизм поворота свода, контактное устройство).

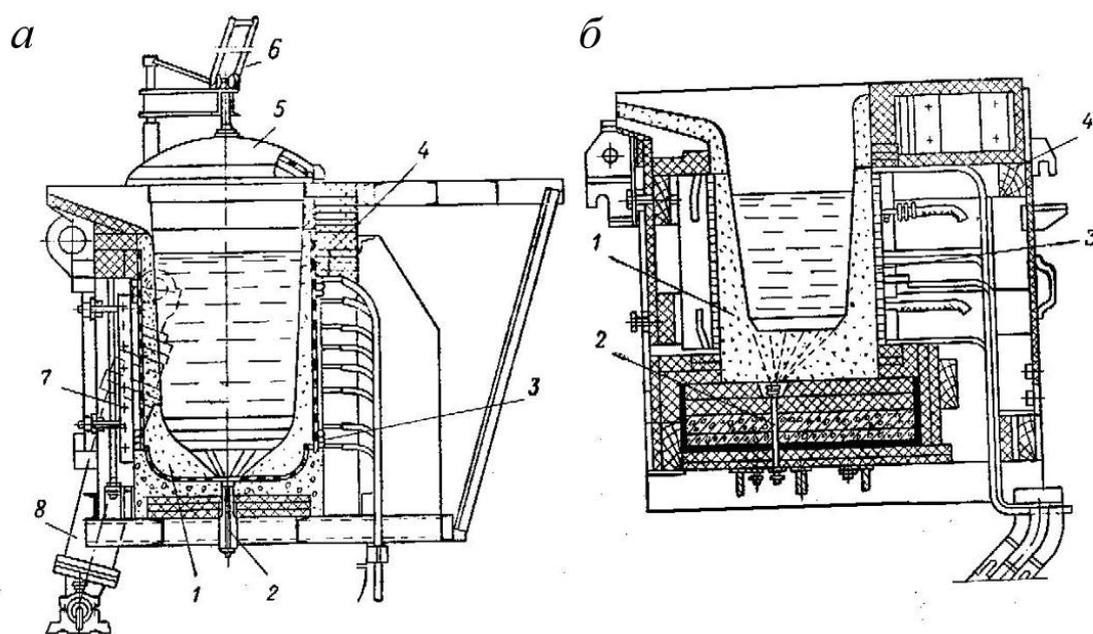


Рисунок 1.3.2 – Индукционная тигельная печь серии ИСТ

а) большой емкости (свыше 1 тонны): 1 – футеровка; 2 – сигнализатор контроля состояния тигля; 3 – индуктор; 4 – корпус; 5 – свод; 6 – механизм подъема и поворота свода; 7 – внешний магнитопровод; 8 – механизм наклона печи;

б) средней емкости (до 1 тонны).

### Корпус

Основой индукционной печи, объединяющей отдельные ее элементы, является корпус. Его металлические части, находящиеся во внешнем магнитном поле индуктора, поглощают часть его активной мощности и нагреваются. Для снижения электрических потерь корпус печи изготавливают из немагнитных материалов. В печах малой мощности (до 1 т) используют

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

дерево или асбоцемент. Корпус печей большей емкости изготавливают полностью из немагнитной стали, меди, бронзы или алюминия в виде конструкций, не образующих замкнутых контуров.

Дальнейшее уменьшение электрических потерь внутри корпуса может быть достигнуто либо путем увеличения размеров корпуса печи, либо путем установки между корпусом печи и индуктором дополнительного магнитопровода (электрический экран), выполненного в виде металлической вставки из материалов с малым удельным сопротивлением.

Для существенного снижения значения электрических потерь в корпусе печи можно использовать электромагнитный экран в виде замкнутого цилиндрического листа. Его выполняют из материалов с малым удельным электрическим сопротивлением (медь, алюминий) толщиной, равной 1,5-2,0 глубины проникновения тока, и располагают между индуктором и корпусом печи.

### **Индуктор**

Индуктор предназначен для создания переменного магнитного поля заданной напряженности, который индуцирует ток в нагреваемых материалах. В процессе плавки индуктор испытывает радиальные электродинамические усилия, вызванные вибрациями, раасширением футеровки, усилиями, возникающими при наклоне печи для слива металла. Кроме того, при расплавлении металла через индуктор проходит существенный тепловой потокот расплавляемого материала. Для предотвращения перегрева индуктора и преждевременного выхода его из строя применяют водяное охлаждение. Это позволяет уменьшить электрические потери и обеспечить надежную электроизоляцию и безаварийность работы агрегата.

Индуктор изготавливают в виде однослойной электрической катушки из медной полой трубки специального профиля, витки которого укладываются в виде спирали с постоянным углом наклона витков и заданным шагом навивки (спираль) или в виде катушки, все витки которой располагаются в

						ВКР.2019-ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		16

горизонтальных плоскостях, а переходы между соседними витками осуществляются наклонным участком (транспозиция).

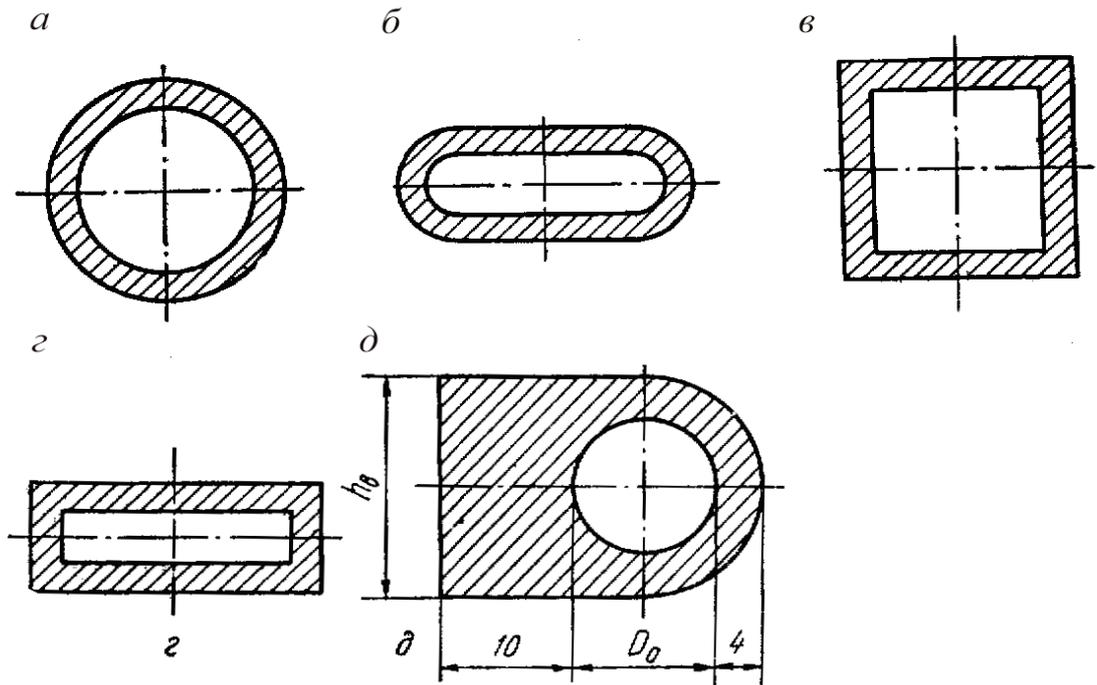


Рисунок 1.3.3 – Профили трубки индуктора: а – круглый; б – овальный; в – квадратный; г – прямоугольный; д – неравностепенный (D-образный).

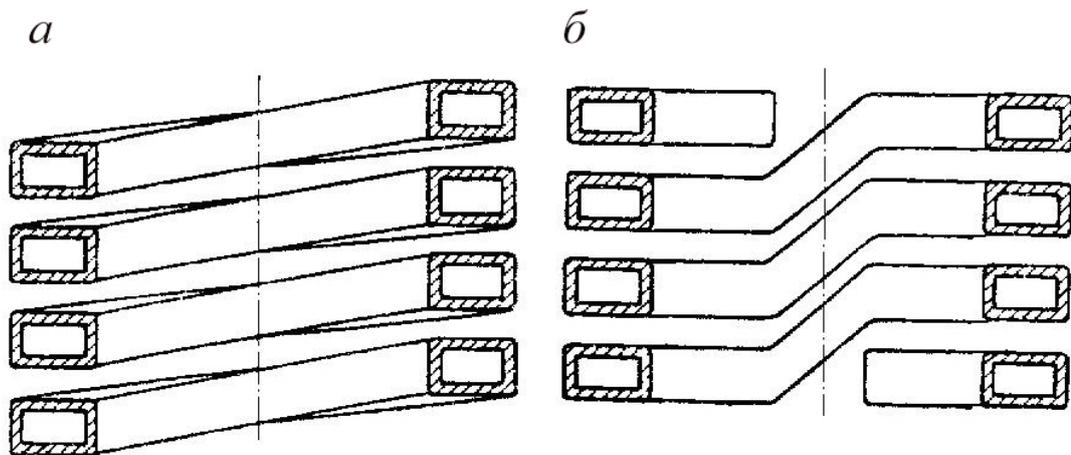


Рисунок 1.3.4 – Индукторы со спиральной навивкой (а) и с транспозицией (б).

Жесткость конструкции индуктора может быть обеспечена двумя способами:

- 1) при наличии электроизоляционного промежутка между витками креплением каждого витка к независимым изоляционным стойкам, с помощью приваренных к нему латунных шпилек;

2) сжатием всех витков между двух плит из изоляционного материала с фиксацией вертикальными стойками. В этом случае витки между собой изолируют прокладками из пиканита, стеклоленты или обмазки.

Водяное охлаждение обеспечивает надежность отвода теплового потока от расплавленного металла через футеровку тигля при обеспечении следующих условий:

1. температура воды не должна превышать температуры выпадения солей жесткости ( $35-40^{\circ}\text{C}$ ) для предотвращения образования накипи внутри трубок и ухудшения теплоотвода от них;

2. температура индуктора не должна быть ниже температуры окружающей среды. В противном случае будет происходить конденсация паров воды и запотевание индуктора, что может привести к пробое изоляции между витками;

3. напор потребляемой воды не должен превышать 2 атм для обеспечения возможности использовать обычную водопроводную воду, поэтому система водяного охлаждения может быть секционирована при параллельном соединении секций охлаждения.

### Огнеупорная футеровка

Огнеупорная футеровка тигельной индукционной печи состоит из тигля, образующего плавильное пространство и определяющего емкость печи, подины, служащей основанием, на которое устанавливают тигель и индуктор, леточной керамики (носок), предназначенной для формирования струи жидкого металла при сливе его из тигля, воротника, соединяющего тигель и леточную керамику, крышки, футерованной шамотными огнеупорами.

Тигель должен обеспечивать минимум тепловых потерь, максимальный электрический КПД и достаточную механическую прочность. Для выполнения этих требований соотношение среднего внутреннего диаметра тигля  $d_0$  и высоты тигля  $h$  должно составлять  $d_0/h = 0,6...1,0$  при средней толщине стенки  $\Delta_m = (0,1...0,25)d_0$ .

Для выполнения механической прочности тигля, заполненного металлом, толщину его стенки по высоте делают переменной, а внутреннюю поверхность выполняют в виде конуса образующего угол наклона  $\alpha = 2...4^\circ$ . Сопряжение вертикальных стенок с дном под углом  $45-50^\circ$ , либо плавным переходом.

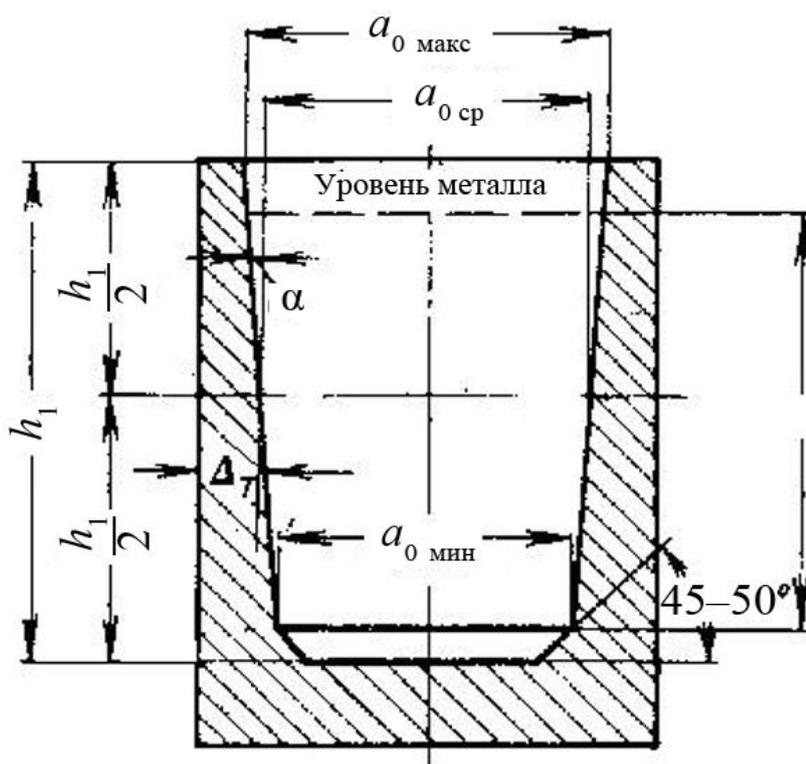


Рисунок 1.3.5 Продольное сечение тигля.

Для индукционных тигельных печей можно применять кислую, основную и нейтральную огнеупорную футеровку. В зависимости от марки выплавляемого металла, уровня температур и особенностей технологий выплавки выбирают соответствующую футеровку.

Кислую футеровку изготавливают из кремнеземистых материалов (кварцит, кварцевый песок, молотый динасовый кирпич) с содержанием  $\text{SiO}_2$  не менее 93-98%. В качестве связующей добавки используют сульфидно-целлюлозный экстрактс добавлением 1,0 – 1,5% борной кислоты в качестве минерализатора. Огнеупорная масса может иметь зерновой состав: 5% зерен 3-2 мм; 50% зерен 2-0,5 мм и 45% зерен менее 0,5 мм. Стойкость кислых тиглей составляет 80 – 100 плавов между ремонтами.

Футеровка индукционных печей может быть изготовлена одним из следующих методов:

1. набивкой футеровочных материалов по стальному шаблону с формой внутренней поверхности печи непосредственно в ней. Шаблон устанавливается на подине строго по оси печи, а порошкообразные огнеупорные материалы засыпают в зазор между индуктором и шаблоном послойно с последовательным уплотнением пневматической или электрической трамбовкой;

2. изготовлением футеровки внепечным методом в виде спрессованного изделия на специальных прессах в пресс-формах. Тигля, изготовленные таким методом помещают в индуктор печи и засыпают с боковых сторон порошкообразными огнеупорными материалами для придания определенной жесткости конструкции и предотвращения возможности прорыва жидкого металла к индуктору;

3. изготовлением футеровки из фасонных изделий. В этом методе необходимо предусмотреть возможность изготовления буферного слоя из огнеупорной засыпки толщиной 25-30 мм между индуктором и тиглем, способным компенсировать тепловые расширения футеровки при ее разогреве;

4. послойной наваркой футеровки путем торкретирования или плазменного напыления контактных рабочих слоев на изготовленную любым методом футеровку. Такой метод позволяет получать химически чистую и компактную высокоогнеупорную поверхность футеровки со стороны металла.

Подину индукционной тигельной печи можно изготовить из огнеупорного бетона, который заливают непосредственно на основание печи, покрытого асбоцементными листами или в опалубку. Материалом подины могут быть текстолитовые или асбоцементные плиты. А также фасонные шамотные кирпичи.

Леточная керамика предназначена для формирования струи металла. Изготавливают из стандартных шамотных кирпичей, уложенных на

										Лист
										20
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата					

огнеупорном растворе из молотого шамота и увлажненной глины на асбоцементную плиту, закрепленную на верхней раме каркаса. Носок леточной керамики, по которому течет металл, изготавливают в виде сплошного шамотного блока соответствующей формы. Часть футеровки, обрамляющая проем над тиглем, называют воротником. Его накрывают асбоцементной плитой. Щели между блоками и тиглем заполняют обмазкой.

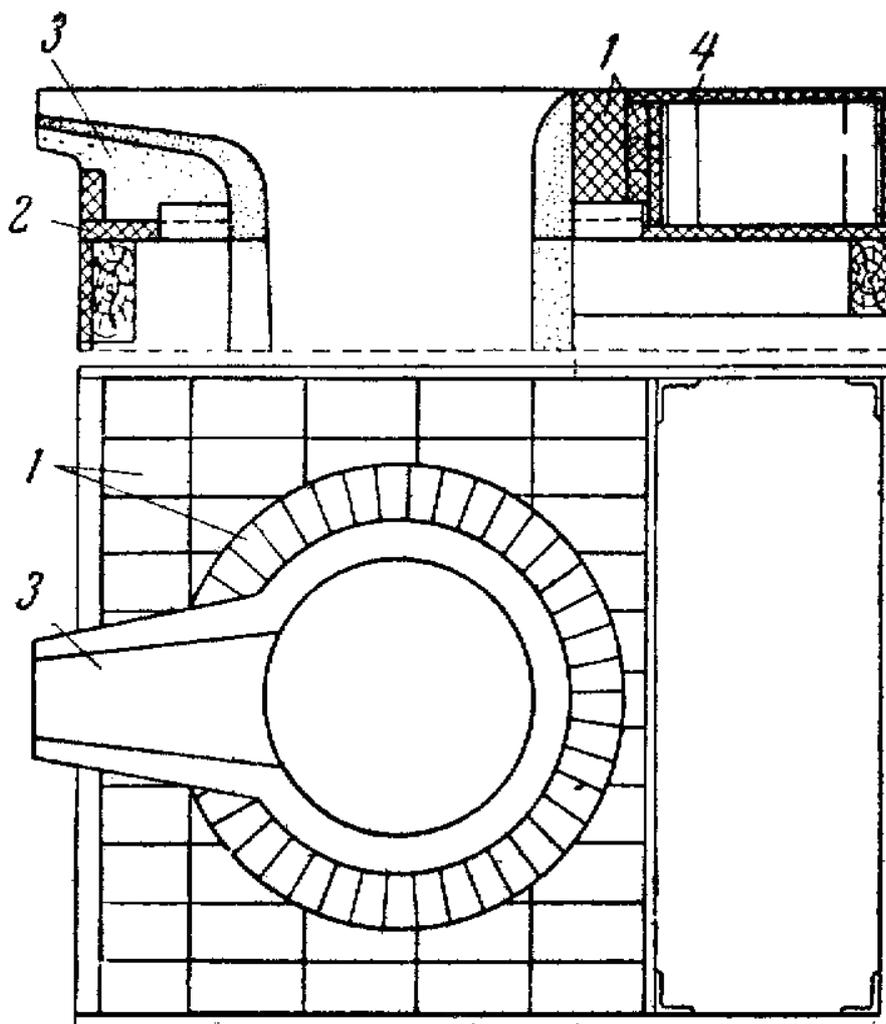


Рисунок 1.3.6 Леточная керамика индукционной печи: 1 – шамотные кирпичи; 2 – асбоцементная плита; 3 – носок; 4 – воротник.

Свод служит для снижения тепловых потерь с поверхности расплавленного металла. Для открытых печей свод выполняют откидывающимся, из конструкционной стали, футерованной изнутри. Открывание крышки осуществляют вручную рычагами, либо с помощью специального привода.

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

## Механизм наклона тигля и поворота свода

Для слива металла из тигля печь наклоняют на  $95-100^\circ$ . Для того чтобы уменьшить длину струи металла и не перемещать разливочный ковш, вслед за изменением положения носка тигля, ось наклона печи располагают вблизи носка или под ним.

Наклон печи производят одним из способов:

1. с помощью ручного привода и рычагов;
2. тельфера или другого подъемного механизма, установленного в цехе.
3. электромеханического привода, состоящего из электродвигателя, редуктора и цепной передачи, установленных на опорной раме печи;
4. гидропривода, включающего маслonaпорную установку для создания давления жидкости в системе, плунжеры и гидроцилиндры, шарнирно связанные с корпусом печи. Для наклона печи в обе стороны гидравлический механизм снабжается двумя парами цилиндров.

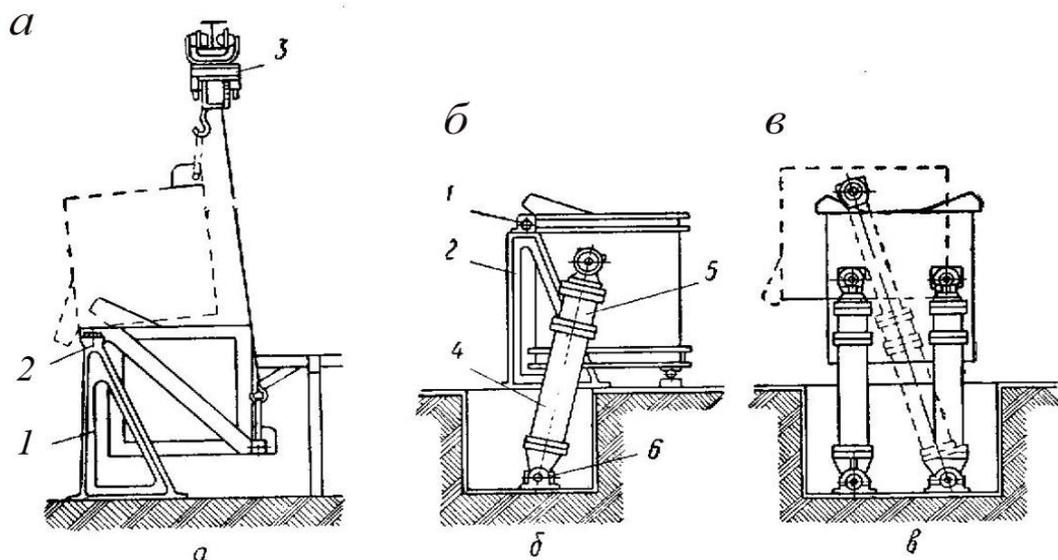


Рисунок 1.3.7 Схемы механизмов наклона индукционных тигельных печей: а) использование кран-балки; б,в) использование гидроцилиндров;

1 – ось наклона печи; 2 – опорная стойка; 3 – тельфер; 4 – цилиндр; 5 – плунжер; б – опора цилиндра.

Последний вид механизма наклона получил наибольшее распространение благодаря простоте конструкции и обеспечению плавности

										Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019-ОР.ПЗ				22

хода. Маслонапорную установку располагают рядом с печью, вне рабочей площадки. Пульт управления размещают на рабочей площадке в месте удобном для наблюдения слива металла. Основным недостатком является необходимость значительного пространства под печью для установки гидроцилиндров.

Для удобства снятия и закрытия герметичной крышки используют механизм поворота свода, который представляет собой рычажные или кулачковые приспособления, позволяющие приподнимать крышку на 1-2 см, после отводить ее в сторону. Для печей большой емкости используют гидравлические цилиндры.

### Контактное устройство

Контактное устройство соединяет индуктор с токопроводом и предусматривает возможность наклона печи для слива металла. Возможно два типа конструкции: жесткое разъемное соединение и гибкое неразъемное.

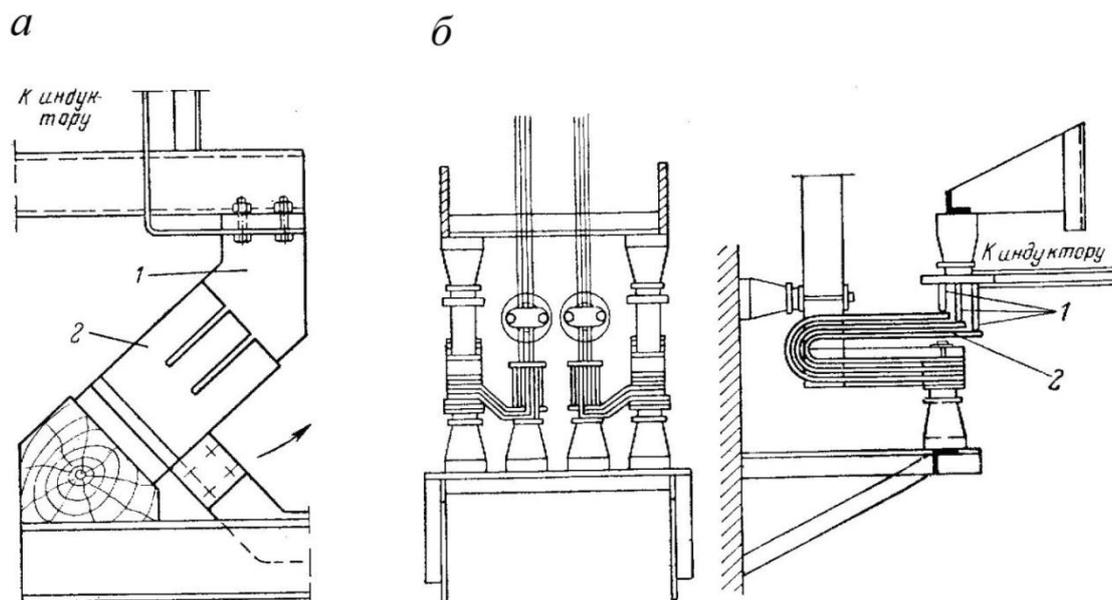


Рисунок 1.3.8 Конструкция разъемного соединения индуктора с токопроводом: а – жесткое соединение контактной части; б – гибкое;

1 – подвижный контакт; 2 – неподвижный контакт.

При использовании жесткого разъемного соединения подвижные контакты, установленные на корпусе печи, соприкасаются с

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

неподвижными, при вертикальном положении печи и выходят из соприкосновения при ее наклоне. Соединение печи при помощи врубных ножей при недостаточной точности изготовления подшипников оси вращения печи, приводит к тому, что подвижный контакт (нож) не попадает в зазор между неподвижными контактами. В результате выходит из строя. Гибкая конструкция не имеет такого дефекта, ее подвижные контакты соприкасаются при вертикальном положении печи с неподвижными пружинными контактами и осуществляют соединение свободным нажатием.

Соединение индуктора с токопроводом при помощи гибкого кабеля значительно снижает энергетические потери, устраняет трудности подгонки подвижных и неподвижных контактов, не требует заботы об их чистоте.

					ВКР.2019-ОР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись		Дата







Детали и крупные обрезки из деформируемых сплавов могут добавляться непосредственно в шихту рабочих сплавов только в количествах, допустимых химическим составом литейного сплава. Крупногабаритные шихтовые материалы разрезают на части, удобные для загрузки в печь.

Предварительная обработка мелких отходов бывает различной в зависимости от степени их загрязнённости.

Предварительная подготовка лома и крупных отходов деформируемых сплавов (например, бракованные поковки) заключается в их сортировке и механической разделке с целью полного освобождения их от деталей, изготовленных из сплавов на основе других металлов.

Шихтовые материалы, загрязненные вредными примесями, подвергают окислительно-рафинировочной переплавке с применением для этой цели окисляющих и рафинирующих присадок, а сильно окисленные – раскислительной переплавке с применением флюсующих присадок и стандартных раскислителей в большем количестве относительно обычных производственных плавков.

В зимний период шихту завозить в цех заблаговременно, чтобы она успела прогреться и просохнуть.

Перед загрузкой в печь шихтовые материалы должны взвешиваться и приниматься службой контроля качества, после чего загружаться в печь.

#### 2.4 Составление и расчёт шихты

Для получения сплавов с определённым химическим составом необходимо перед плавкой произвести расчёт шихты. От правильности проведения этой технологической операции зависит соответствие сплава требованиям стандарта или техническим условиям.

Для составления и расчёта шихты нужно иметь следующие данные:

- требования, предъявляемые к годному литью, для которого составляется шихта. По содержанию основных легирующих компонентов и примесей.

						ВКР.2019-ТР.ПЗ	Лист
							28
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		

- характеристики, имеющихся на складе шихтовых материалов по их виду, источнику поступления, состоянию и готовности к плавке, массе и содержанию основных легирующих компонентов и примесей.

- величину угара компонентов, входящих в шихту, при плавке и литье; массу годного конечного литого изделия, для получения которого составляется шихта, и показатель выхода годного литья или заправочный коэффициент.

При составлении шихты необходимо учитывать влияние шихтовых материалов на себестоимость литого изделия. Себестоимость должна быть минимальной.

Первичные металлы и лигатуры являются дорогими составляющими шихты, отходы производства и лом – дешевыми. Поэтому количество первичных металлов и лигатур должно быть в шихте минимальным, а количество отходов собственного производства, а также отходов и лома со стороны должно быть максимальным.

Количество возвратных металлов и сплавов в шихте определяется показателем выхода годного литья и расходом металла на его изготовление с учётом снабжения производства исходным сырьём.

При составлении шихты также необходимо учитывать свойства компонентов, входящих в шихту, их поведение при высоких температурах и их взаимодействие друг с другом, печной атмосферой и материалами футеровки печи в процессе плавки. Различные металлы, входящие в сплав, обладают неодинаковым сродством к кислороду и температурой испарения, следовательно, при повышенных температурах дают различные величины безвозвратных потерь.

На величину металлургических угаров и других потерь металлов существенное влияние оказывают степень отработанности технологического процесса плавки, тип плавильных печей и степень их исправности, техническое совершенствование плавильно-литейного оборудования и правильность выполнения плавильно-литейных работ.

					ВКР.2019-ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документ	Подпись	Дата		29

В зависимости от сочетания исходных шихтовых материалов возможны следующие варианты составления и расчёта шихты:

- составление и расчёт шихты из первичных металлов;
- составление и расчёт шихты из первичных или вторичных сплавов и лигатур;
- составление и расчёт шихты из отходов собственного производства с применением первичных металлов и лигатур;
- составление и расчёт шихты только из отходов собственного производства или только из вторичных металлов.

Расчёт шихты ведут, как правило, на 100 килограмм сплава. При расчете следует брать средний химический состав на данный сплав или оптимальный химический состав в пределах ГОСТа и ТУ, при котором сплав имеет наилучшие свойства.

В процессе плавки и разливки используют следующие материалы:

- лом рабочих органов «нирезист»;
- возврат собственного производства;
- сталь;
- модификатор ФС65Ба4 (или аналогичный, по разрешению СГМ);
- модификатор P20;
- ферросилиций FeSi65 ГОСТ 1415-93(или аналогичный, по разрешению СГМ);
- ферромарганец FeMn78, класс А ГОСТ 4755-91(или аналогичный, по разрешению СГМ);
- шихтовые материалы, содержащие Cu,Ni, с низким содержанием хрома;
- сода кальцинированная техническая;
- раскислитель «L-cast»;
- графит.

Определив среднее содержание элемента в шихте, рассчитывают процентное содержание составляющих шихты.

						ВКР.2019-ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		30



Таблица 2.4.2- Состав шихтовых компонентов

Компоненты	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
Лом рабочих органов «нирезист»	2,7	1,2	1,1	0,12	0,05	1,95	7	14,2
Возврат «нирезист»	2,95	1,7	1,6	0,125	0,03	1,75	6,1	16.1
Лом стальной	0,2	0,3	0,8	0,05	0,05	-	-	-

С учетом имеющихся шихтовых материалов и химического состава подбираем массу отдельных элементов в шихте:



$100 * 7,8 / 99 = 7,9$  килограмм.

Также с учетом угара не хватает марганца:

$1,77 - 1,33 = 0,44\%$

или

$0,44 * 3000 / 100 = 13,2$  килограмм.

Недостающее количество марганца восполняем ферромарганцем FeMn78:

$100 * 13,2 / 75 = 17,6$  килограмм.

Также с учетом угара не хватает кремния:

$1,65 - 1,435 = 0,215\%$

или

$0,215 * 3000 / 100 = 6,45$  килограмм

Недостающее количество кремния восполняем ферросилицием FeSi65:

$100 * 6,45 / 65 = 9,9$

На основании расчета шихты методом подбора можно записать состав шихты металлической завалки массой 3000 килограмм:

Таблица 2.4.4- Состав шихты металлической завалки на 3000 килограмм

Наименование составляющих	Содержание, кг
Лом рабочих органов «нирезист»	1500
Возврат собственного производства	1400
Лом стальной	100
Графит	8
Ферромарганец FeMn78	17,5
Ферросилиций FeSi65	10
Итого	3035,5





## 2.6 Слив металла

При десульфурации перед сливом металла добавить в ковш раскислитель «L-cast» в теоритических расчётах 10 кг на 3 тонны металла. Слив с печи производить максимально быстро. Выдержать 5 минут, перемешать шлак деревянной палкой, утапливая шлак в металл, далее выдержать 3 минуты, скачать шлак, вернуть металл в печь для повторного анализа.

В начале слива плавки, а также после перерывов между выставками форм на линии, прогревать ковш методом холостого перелива. Модифицировать только то количество металла, которое необходимо для заливки слитков или форм.

Перед сливом металла с печи, добавлять в каждый ковш (на дно) модификаторы ФС65БА4 и Р20. При отсутствии модификатора ФС65Ба4, допускается его замена на модификатор ФС65Ба17в количестве 0,14% от веса жидкого металла в ковше. Подать ковш под жёлоб печи, слить металл в ковш. Выдержать 1 минуту. При выдержке металла, ковш должен быть закрыт крышкой (для уменьшения падения температуры). Скачать шлак. Подать ковш на заливку.

При меньшем или большем количестве слитого металла - пересчитать количество модификатора ФС65Ба4 (0,3% от веса металла) и Р20 (0,2% от веса металла).

Плавильщику залить пробу для определения окончательного химического анализа чугуна. На пробе маркером указать номер плавки.

Остатки модифицированного металла с каждого ковша сливать в чушку, немодифицированный металл сливать обратно в печь.

При простое готового металла более 2 часов проверить химический состав на соответствие требованиям настоящей инструкции. В случае необходимости провести корректировку параметров металла и повторно залить образцы.

						ВКР.2019-ТР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		37

## 2.7 Методы контроля

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

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

- Химический состав чугуна определять на спектрометре, содержание углерода и серы методом сжигания раздробленной или литой скрапины на экспресс анализаторе.

- 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.

					ВКР.2019-ТР.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись		Дата

## Заклучение

Вданнойвыпускнойквалификационнойработебыларазработанатехнологи  
явыплавкилегированногочугунамарки ЧН16Д6Х2 в индукционной тигельной  
печи.

Дляразработки технологии выплавки легированного чугуна решили  
следующие задачи:

- исследован химический состав легированного чугуна;
- проанализированы технические условия для  
выплавкилегированногочугуна;
- выбран агрегат для выплавки легированного чугуна;
- рассмотрены существующие методы выплавки легированного чугуна;
- рассчитан состав шихты плавки;
- рассчитано количество легирующих элементов;
- рассчитан материальный баланс плавки.

Даннаятехнология теоритически рассчитана для  
выплавкивысоколегированногочугуна марки ЧН16Д6Х2 в индукционной  
тигельнойпечи и может использоваться на предприятии.

					ВКР.2019-3.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись		Дата

