

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ (Михайлов Г.Г.)
_____ 2017 г.

«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЕНЦА
ЗУБЧАТОГО ИЗ СТАЛИ 35Л ДЛЯ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ ЦЕМЕНТНОГО
ПРОИЗВОДСТВА».

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
ЮУрГУ–150400.62.2017.447.ПЗ ВКР

Руководитель работы, (доцент)
_____ (Ильин С.И.)
_____ 2017 г.

Автор проекта
студент группы П-447
_____ (Мажаров Д.В.)
_____ 2017 г.

Нормоконтролер, (д.т.н., проф.)
_____ (Корягин Ю.Д.)
_____ 2017 г.

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Мажаров Д. В. Технологические процессы изготовления зубчатого венца из стали 35Л для обжиговой печи цементного производства. – Челябинск: ЮУрГУ, П-447, 43 с., 11 ил., 8 табл., библиогр. список – 8 наим.

В работе рассмотрены процессы получения доэвтектоидной среднеуглеродистой литой стали и изготовления из нее детали для обжиговой печи.

Цель работы – Описание процессов выплавки стали марки 35Л, получения из нее заготовки и последующего проведения термической обработки, для получения необходимой детали с заданными свойствами.

- Собрана и проанализирована информация о получении стали.
- Выбран режим термической обработки.
- Произведен расчет основного оборудования для нагрева заготовки.

					<i>ЮУрГУ-150400.2017.447.00.00.В0</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Мажаров</i>				<i>Технологические процессы изготовления зубчатого венца из стали 35Л для обжиговой печи цементного производства</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Ильин</i>						5	43
<i>Н. Контр.</i>	<i>Корягин</i>				<i>ЮУрГУ кафедра МиФХМ</i>			
<i>Утверд.</i>	<i>Михайлов</i>							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ВЫБОР МАРКИ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ.....	8
1.1 Анализ условий работы зубчатого венца.....	8
1.2 Обоснование выбора марки стали.....	9
1.3 Описание стали.....	10
1.4 Особенности литых сплавов.....	12
2 ВЫПЛАВКА СТАЛИ, ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ.....	16
2.1 Шихта для выплавки.....	16
2.2 Получение стали в ДСП.....	17
2.3 Доводка состава в установке ковш-печь.....	19
2.4 Разливка стали.....	21
3 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	22
3.1 Технологический процесс ТО стали 35Л.....	22
3.2 Контроль качества термической обработки	24
3.3 Возможные виды брака.....	24
4 РАСЧЁТ И ОПИСАНИЕ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	25
4.1 Описание основного оборудования.....	25
4.2 Расчет времени нагрева.....	28
4.3 тепловой баланс печи.....	32
4.3.1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла.....	32
4.3.2 Тепло теряемое вследствие теплопроводности кладки	33
4.3.3 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно.....	38
4.3.4 Потери тепла вследствие коротких замыканий	39
4.4 Расчет КПД электрической печи.....	40
5 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	42
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	43

ВВЕДЕНИЕ

Термическая обработка является одной из главных операций в производстве металла любого состава. Именно она задаёт необходимые свойства сплаву, выравнивает состав и улучшает механические и физические характеристики сплава. Без термообработки не обходится ни одно крупное металлургическое предприятие. Современные знания и технологии, позволили поднять уровень качества стали до невероятных высот. Ежегодно не только совершенствуются уже известные, но и изучаются новые, более надёжные и дешёвые способы термической обработки.

В данном дипломном проекте рассматривается производство, а так же основные виды термической и механической обработки детали «Венец зубчатый». Данная деталь используется как элемент трубчатой обжиговой печи, для производства клинкера. Она подтверждена абразивному износу, а так же температурным напряжениям. Было выбрано основное оборудование, задействованное в процессе производства, произведён расчёт термической камерной печи. Данная печь является наиболее экологически безопасной, по сравнению с топливными печами, простой в конструкционном исполнении и наиболее хорошо подходит для целей, рассматриваемые в дипломном проекте.

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 ВЫБОР МАРКИ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

1.1 Анализ условий работы зубчатого венца

В качестве детали для расчёта дипломного проекта был выбран зубчатый венец для обжиговой печи.

Зубчатый венец – это важнейшая деталь для аппаратов с вращающимися барабанами (такие как печи и сушилки). По конструкции зубчатые венцы бывают цельные и разъемные, с наружным или внутренним зацеплением. Разъемные венцы с наружным зацеплением могут быть с обработанными и литыми, необработанными, зубьями.

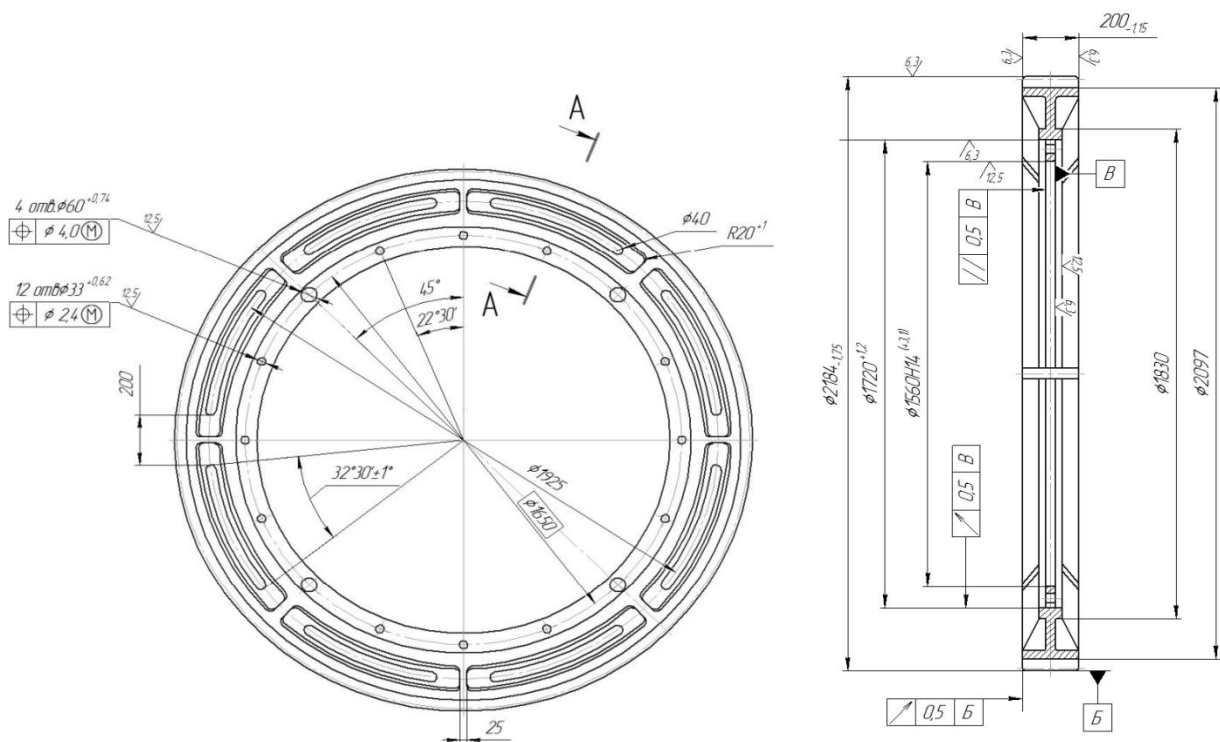


Рисунок 1.1– Эскиз зубчатого венца

Как видно на рис. 1.1, в данном случае речь пойдёт о венце с наружным зацеплением. Материал для данной детали подвергается механической обработки резанием. Вследствие чего, материал должен иметь достаточную пластичность, чтобы процесс не был затруднителен. Кроме этого в процессе

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

работы, венец так же подвержен абразивному износу и температурный напряжениям, в результате трения о поверхность зубьев вала-шестерни.

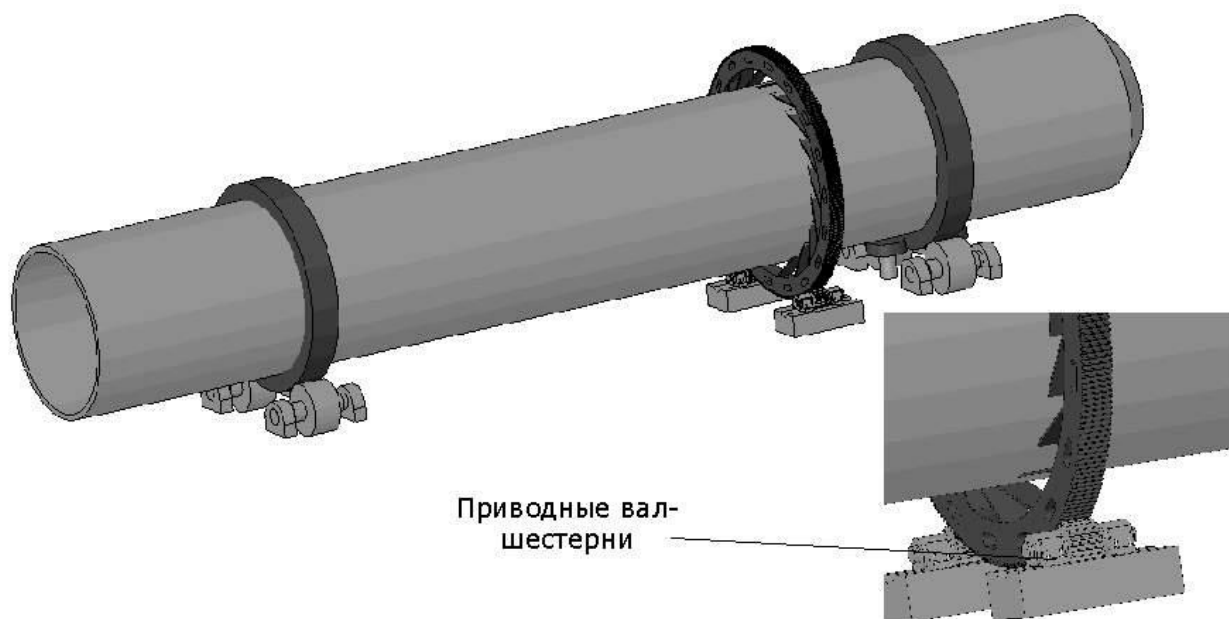


Рисунок 1.2 – Схема трубчатой обжиговой печи

Так же из-за больших габаритов изделия, требуется равномерное распределение механических свойств по всему сечению. Достижение поставленных задач возможно при правильном выборе марки стали, и соответственной термической обработки.

1.2 Обоснование выбор марки стали

Для изготовления венца было выбрано 2 марки стали 45Л и 35Л.

Рассмотрим их подробнее.

45Л – среднеуглеродистая, не легированная, литейная сталь, с содержанием углерода 0,45%

35Л – конструкционная, среднеуглеродистая, литейная сталь, не легированная с содержанием углерода 0,35%.

Механические характеристики сталей после термообработки приведены в таблице 1.1

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Таблица 1.1 – Механические свойства сталей после термообработки [1]

Марка стали	Температура ТО, °С		σ_T	σ_B	δ	ψ	КСУ
	Отжиг	Нормализация	КГ/ММ ²		%		ДЖ/СМ ²
45Л	860	580	32	55	12	20	3,0
35Л	880	600	28	50	15	25	3,5

Как видно из таблицы 1.1 сталь 45Л имеет более высокие прочностные свойства, чем у стали 35Л, но свойства пластичности ниже, чем у той же стали. Это может затруднить дальнейшую механическую обработку данной детали.

Следовательно, для изготовления зубчатого венца, более выгодно взять сталь 35Л.

1.2 Описание стали

Сталь 35Л является доэвтектоидной среднеуглеродистой не легированной конструкционной литой сталью. Изделия из данной стали относятся к отливкам особо ответственного назначения. Применяется для изготовления деталей, работающие при динамических и знакопеременных нагрузках, для которых предъявляются особые требования высокой твёрдости и вязкости. Например, катки, тяги, кронштейны, зубчатые колёса, станины прокатных машин и др. Химический состав стали представлен в таблице 1.2. [2]

Таблица 1.2 – Химический состав стали 35Л (ГОСТ 977-75)

Содержание элементов, мас. %						
C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu
0,32–0,40	0,12–0,52	0,5-0,9	до 0,04	до 0,07	–	–

Критические точки стали 35Л представлены в таблице 1.3

Таблица 1.3 – Критические точки стали 35Л [2]

$A_{c1}, ^\circ C$	$A_{c3}, ^\circ C$	$A_{r3}, ^\circ C$	$A_{r1}, ^\circ C$
730	802	770	670

На рисунке 1.3 приведена диаграмма изотермического распада аустенита стали 35Л.

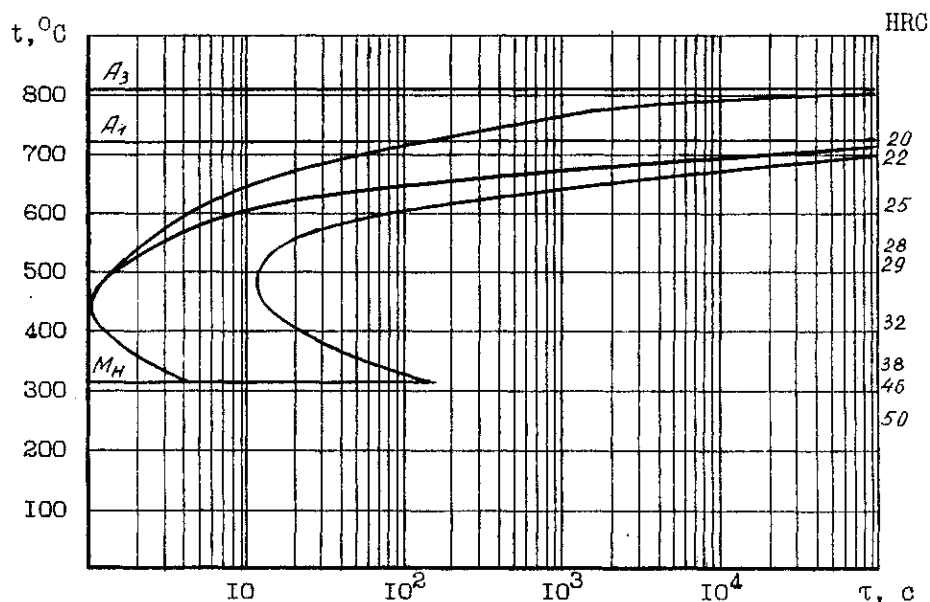


Рисунок 1.3 – Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 40ХН

Механические свойства стали 35Л при комнатной температуре после отжига от температуры 880°C и нормализации от 600°C приведены в таблице 1.4 [1].

Таблица 1.4 – Механические свойства стали 35Л

$t_{исп.}, ^\circ C$	$\sigma_{0,2}, \text{КГ/ММ}^2$	$\sigma_B, \text{КГ/ММ}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	КСУ, КГ/см ²
20	28	50	15	25	3,5

Обозначения:

$\sigma_{0,2}$ – Предел текучести, [КГ/ММ²]

σ_B – Предел прочности, [КГ/ММ²]

$\delta, \%$ – Относительное удлинение, [%]

$\psi, \%$ – Относительное сужение, [%]

КСУ, КГ/см² – Ударная вязкость, [КГ/см²]

1.4 Особенности литых сплавов

Отливкой называют массу металла, отлитую в специально подготовленную, обычно песчаную форму и там затвердевшая, в дальнейшем использовавшаяся для изготовления деталей машин или сооружений без применения обработки давлением. В следствии отсутствия данного типа обработки, структура изделия получается неоднородной. Различают 2 типа неоднородности отливок: физическая и химическая [1].

Под физической неоднородностью понимают нарушение сплошности, образующихся в результате объемных изменений при затвердевании и охлаждении металла. Такая неоднородность проявляется в виде:

- Усадочных раковин

Данный тип представляет собой группу пустот, образующихся в результате перемещения металла из одной части слитка или отливки в другую,

вызванного усадкой при охлаждении жидкого металла и затвердевании. Они образуются в верхних частях слитков и отливок и в частях, затвердевающих позднее других. Для устранения данного дефекта из объёма литой заготовки устанавливают прибыли, в которых усадочные раковины локализируются; прибыли удаляются в результате обработки отливок. Пример усадочной раковины показан на рисунке 1.4.

Помимо первичных усадочных раковин, проявляющихся в прибылях и верхних частях отливок, могут образовываться вторичные усадочные раковины и грубая пористость в сопрягаемых и утолщенных частях отливок, изолирующихся от прибылей в процессе затвердевания; такие раковины представляют собой группы мелких пустот.

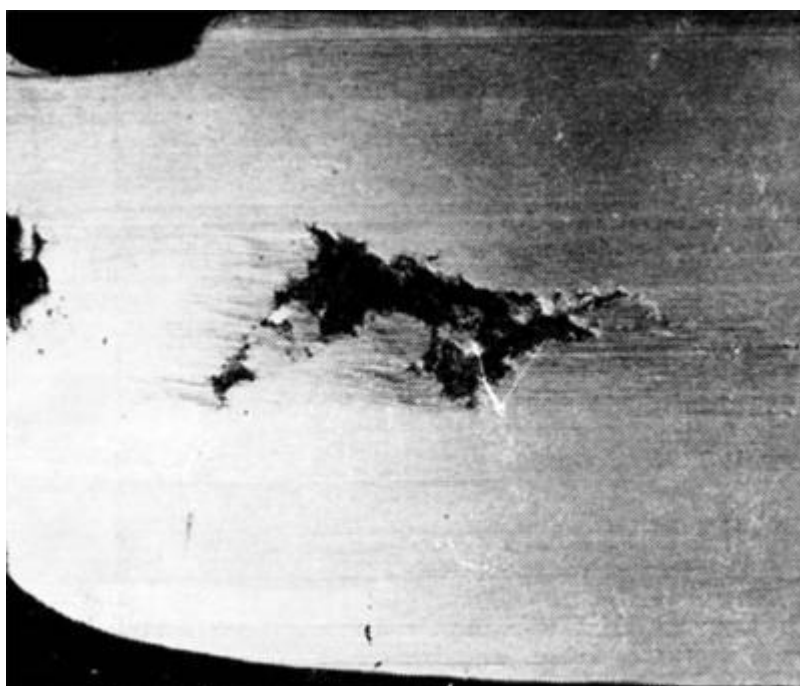


Рисунок 1.4 – Полости от усадочной раковины

- Усадочная пористость

Заключается в рассредоточенной группе мелких пустот, образующихся в результате усадки металла при затвердевании раньше, чем жидкий металл из источника питания оказывается в состоянии заполнить эти пустоты. Данный вид образуется в изолированных объёмах и узких полостях, где движение

жидкого металла затруднено по оси слитков и отливок, а также в междендритных пространствах. Чем выше скорость затвердевания, тем мельче кристаллы, тем легче жидкому металлу заполнять пустоты между ними и тем меньше в нём дендридная пористость (рисунок 1.5).

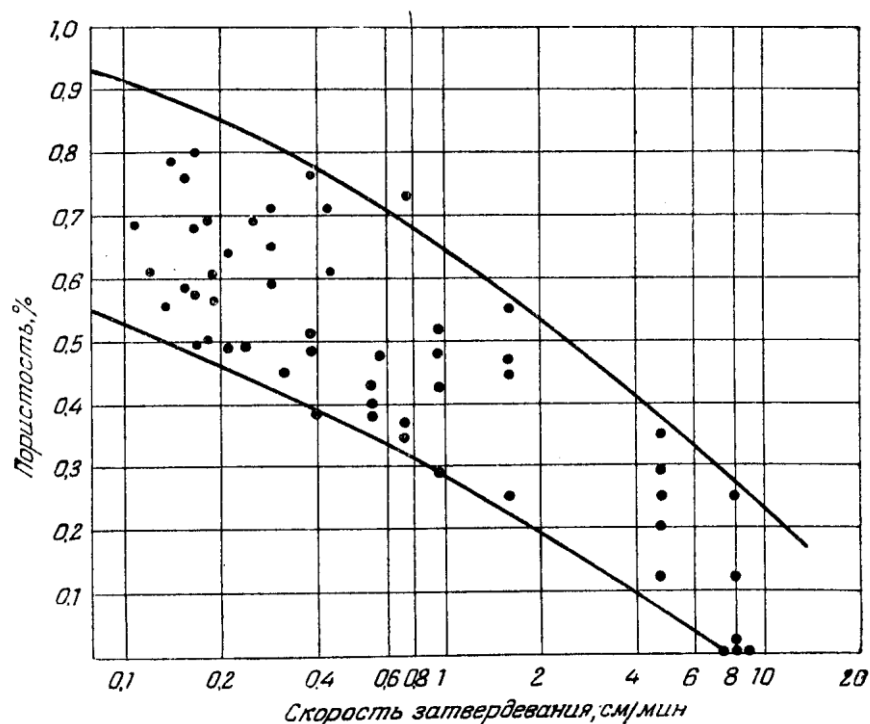


Рисунок 1.5 – Влияние скорости затвердевания на пористость стали в условиях незатрудненного питания

• Трещины

Представляют собой нарушение сплошности твёрдого металла, вызванные внутренними напряжениями, достигшими значения сопротивления отрыву. Эти напряжения обусловлены торможением сокращения размеров слитка или отливки при охлаждении. Трещины в слитках возникают в следующих случаях:

- 1) из-за зависания; в этом случае трещины располагаются поперёк оси слитка;
- 2) из-за слишком быстрого нарастания напряжений в корке, образующейся в начальной стадии затвердевания.

Быстрое нарастание в корке может быть вызвано чрезмерной скоростью и чрезмерно высокой температурой заливки; в этих случаях трещина располагается вдоль оси слитка.

Под химической неоднородностью, или ликвацией, понимается различие химического состава в отдельных частях одной и той же массы металла. Выявляется она путём прямого химического анализа металла из различных частей слитка, либо косвенного путем по степени и характеру растворения кислотами различных зон слитка на шлифах

Химическая неоднородность проявляется в виде дендритной или зональной ликвации: а) осевой или V-образной; б) внеосевой; в) ликвационного пятна под усадочной раковинной.

Дендритная ликвация представляет собой химическую неоднородность в пределах отдельных дендритов (кристаллов) и определяется различием состава металла в осях и междуосных пространствах.

Зональная ликвация – химическая неоднородность в пределах слитка в целом; чаще всего она проявляется в виде скоплений примесей. При увеличении веса слитка и замедлении его затвердевания степень химической неоднородности увеличивается.

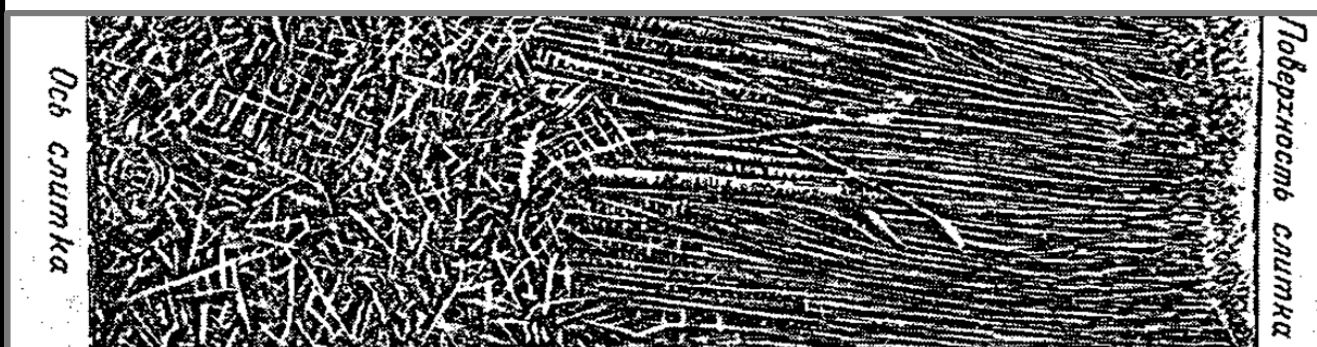


Рисунок 1.6 – Зональная ликвация

Прямой причиной химической неоднородности в слитке является различная растворимость примесей в твёрдой и жидкой фазах, связанная с избирательной кристаллизацией. Чем больше различие растворимости данной

примеси в твёрдой и жидкой фазах, тем неоднороднее распределяется эта примесь по сечению слитка, тем больше степень ее ликвации.

В стальных отливках в заметной степени ликвируют только сера, фосфор и углерод; остальные примеси при их обычном содержании почти не ликвируют, особенно в слитках небольшого развеса [1].

2 ВЫПЛАВКА СТАЛИ, ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВКИ

2.1 Шихта для выплавки

Основным материалом, используемым для изготовления данной стали служит металлошихта, а также корректировка химического состава осуществляется при помощи ферросплавов: ферросилиция, ферромарганца и науглероживания.

Примерный состав металлошихты: стальной углеродистый лом-46,1%, стальная стружка-20%, ВСП (возврат собственного производства)- 28,4%, чугуна перельный-5,5%. Как видно из состава, основным источником металла является стальной лом.

Из общего количества образующего лома 35% образуется непосредственно на металлургических заводах (обрезь металла при прокатке, бракованные слитки, скрап и т.д.) химический состав которого заранее известен. Остальная же часть поступает на предприятие от организации-поставщика, либо от частных лиц, сотрудничающих с данным заводом. Лом не должен содержать цветных металлов и должен иметь минимальное количество никеля и меди; желательно, чтобы содержание фосфора в ломе не превышало 0,05%. Также лом не должен быть окисленным (ржавым), преимущественно тяжеловесный, так как в противном случае увеличивается продолжительность плавки.

Реализация данного материала, а так же ВСП очень выгодная как со стороны вторичного использования металла, так и экономически.

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Доведение химического состава стали, в том числе получение требуемого количества углерода осуществляется при помощи ферросплавов. Вводить в сталь нужный элемент не в виде чистого металла, а в виде его сплава с железом удобнее вследствие более низкой температуры его плавления и выгоднее, так как стоимость ведущего элемента в сплаве с железом ниже по сравнению со стоимостью технически чистого металла [5].

2.2 Получение стали в ДСП-5

На сегодняшний день для массовой выплавки стали применяют дуговые электропечи, питаемые переменным током, индукционные печи и получающие распространение в последние годы дуговые печи постоянного тока, причем доля печей последних двух видов в общем объеме выплавки невелика

В дуговых печах переменного тока в течение многих десятилетий выплавляли основную часть высококачественных легированных и высоколегированных сталей (сталей электропечного сортамента), которые было затруднительно выплавлять в конвертерах и мартеновских печах. Основные достоинства дуговых

Дуговая сталеплавильная печь ДСП-5 вместимостью 5 тонн представляет собой крупный и сложный металлургический агрегат, оборудованный большим числом отдельных частей, узлов и механизмов, сетью электрических, воздушных, газо-кислородных коммуникаций, водо- и газоочистительными сооружениями, сложнейшими приборами контроля и автоматического регулирования. Пример данной печи представлен на рисунке 2.1.

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

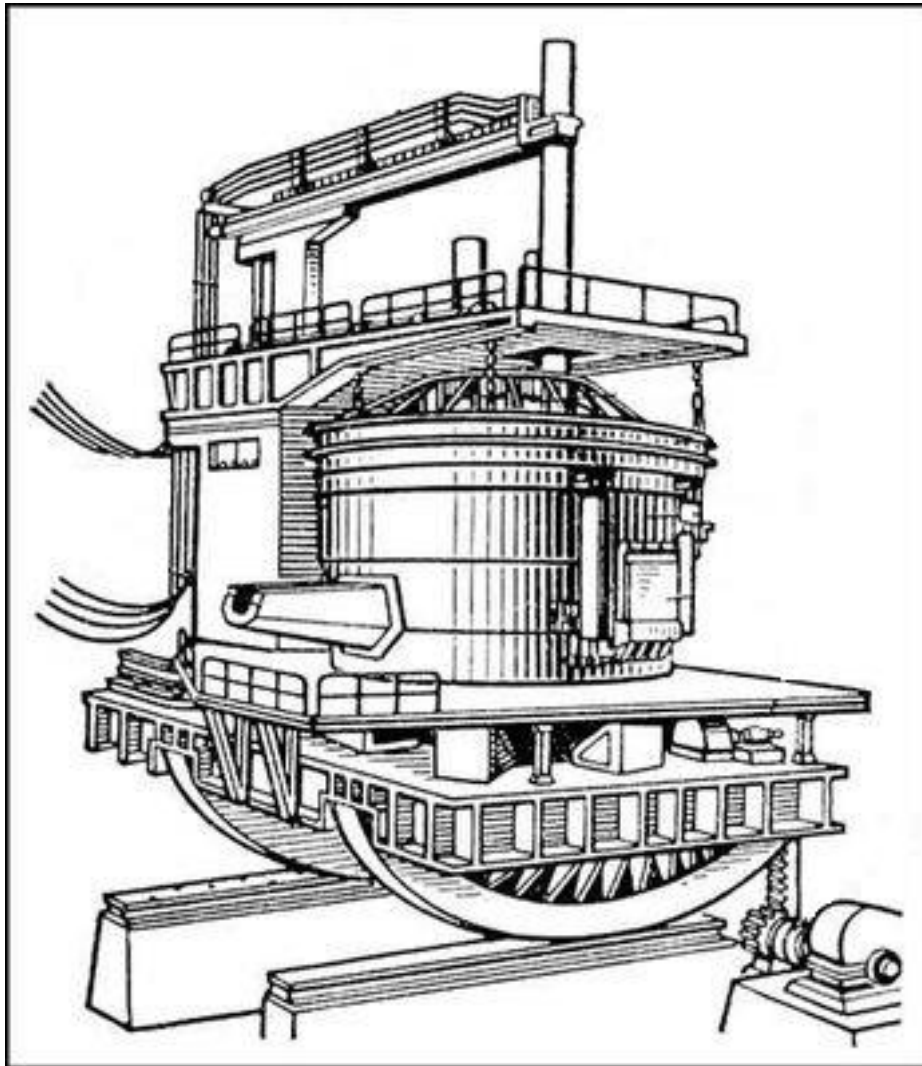


Рисунок 2.1 – Дуговая сталеплавильная печь

Основным материалом использующийся для плавки служит стальной лом. Шихту в современных печах загружают сверху в открываемое рабочее пространство с помощью корзины (бадьи) с открывающимся дном. Для предохранения подины от ударов крупными кусками шихты на дно бадьи загружают мелкий лом. После окончания завалки в печь опускают электроды, включают высоковольтный выключатель и начинают период плавления. На данном этапе возможна поломка электродов (при плохой проводимости между электродом и шихтой исчезает электрическая дуга и электрод упирается в непроводящий кусок шихты). Регулирование отдаваемой мощности осуществляется изменением положения электродов (длины электрической

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150400.62.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

18

дуги) либо напряжение на электродах. После периода расплавления в печи образуется слой металла и шлака.

Выпуск готовой стали и шлака в ковш осуществляется через сталевыпускное отверстие и жёлоб путём наклона рабочего пространства. Рабочее окно, закрываемое заслонкой, предназначено для контроля за ходом плавки (замер температуры металла и отбор пробы химического состава металла). Также рабочее окно может использоваться для подачи шлакообразующих и легирующих материалов [6].

Период плавки разделяют на 4 периода: 1– подготовка печи к плавки (исправление изношенных участков пода, завалка шихты); 2– период плавки (ввод максимальной электрической мощности, расплав шихты) ; 3– окислительный период (слив основной массы шлака) ; 4– восстановительный период.

Преимущества дуговой сталеплавильной печи:

- быстрый нагрев металла, связанный с вводом тепловой мощности в самом металле;
- плавная и точная регулировка температуры стали;
- получение стали с низким содержанием серы;
- более полное, чем в других печах, раскисление металла, получение его с низким содержанием неметаллических включений;

2.3 Доводка состава в установке ковш-печь

После выпуска металла из ДСП, дальнейшие шаги по доводке стали по химическому составу и температуре выполняются непосредственно в агрегате ковш-печь, представленный на рисунке 2.2.

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

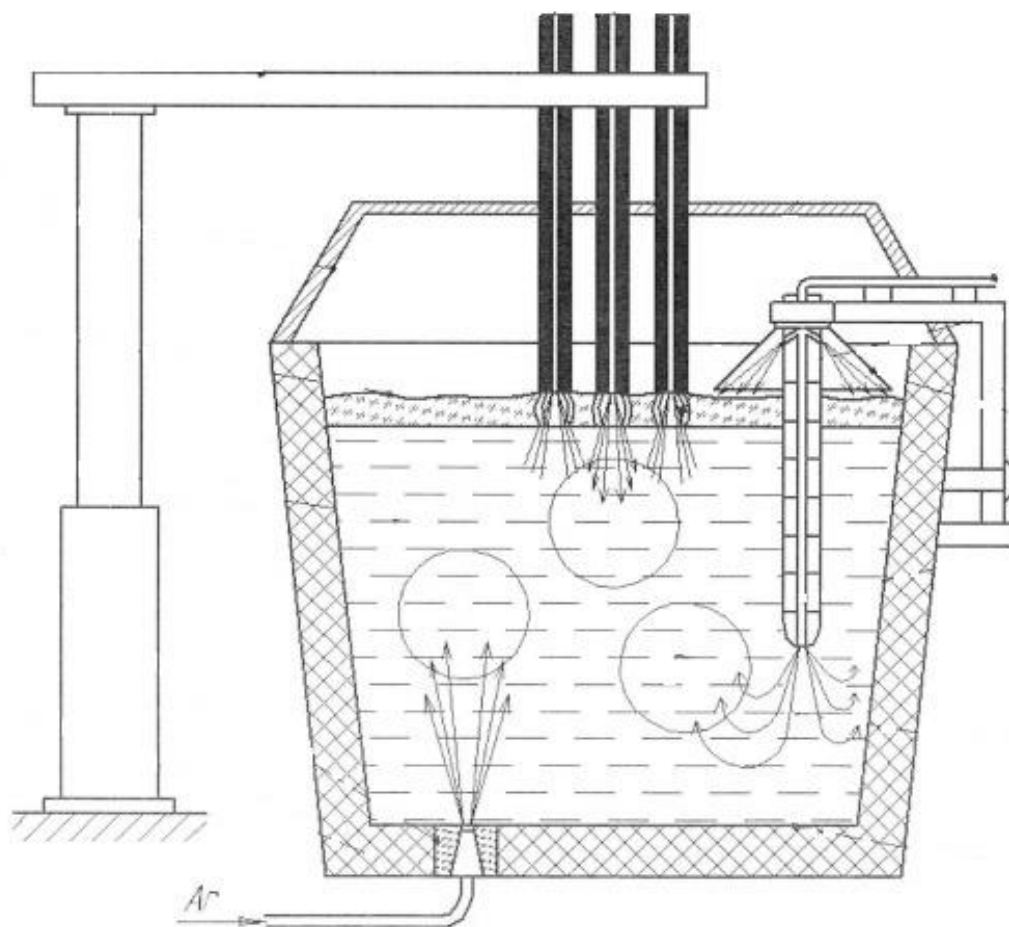


Рисунок 2.2 – Агрегат ковш-печь

Данный аппарат представляет собой нагрев раскálённой стали, с помощью 3 графитированных электродов, которые при нормальном технологическом режиме обеспечивают нагрев стали в ковше со скоростью 4-5°С в минуту. Кроме этого также имеются система принудительного перемешивания расплава инертным газом, система подачи ферросплавов и материалов для рафинирования, подачи порошковой проволоки.

Установка печь-ковш также служит своеобразным амортизатором между процессом выплавки и разливки металла с высокой точностью по требованиям к температуре и допускам в отношении химического состава, корректировка которого осуществляется при помощи ферросплавов. В печь-ковше можно еще

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150400.62.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

20

раз нагреть металл, задать требуемый температурный режим и контролировать свойства металла [6].

2.4 Разливка стали

После доведение стали до нужной температуры и требуемого состава, металл заливается в заранее приготовленную литейную форму.

Полость литейной должна полностью соответствовать габаритом зубчатого венца, в точности повторять его размеры. Состав формовочной смеси приблизительно следующий:

- 91,5% горелая земля
- 2% глина огнеупорная
- 2 лигносульфонат
- 4,5% воды

После утрамбовки и полной сушки формы в неё заливают раскалённую полученную сталь с температурой заливки 1560°C. Для данной операции выбраны способ заливки сверху, так в процессе используется только одна изложница. При разливке сверху сталь непосредственно из ковша поступает в изложницы, устанавливаемые на чугунных плитах-поддонах. После заполнения изложницы шиберный затвор ковша закрывают. Преимуществами разливки сверху, в сравнении с сифонной разливкой являются [5]:

- 1) Более простая подготовка оборудования к разливке и меньшая стоимость разливки;
- 2) Отсутствие расхода металла на литники;
- 3) Температура металла перед разливкой может быть ниже, чем при сифонной разливке.

Вместе с тем, разливке сверху присущие следующие недостатки:

- 1) Большая длительность разливки;

- 2) Образование плен на поверхности нижней части отливки;
- 3) Снижение стойкости футеровки ковша.

Тем не менее, не смотря на все недостатки, разливка стали сверху является более продуктивной операцией, нежели сифонная разливка.

В ходе получения стали, на всех этапах ведется контроль получаемого металла: производится забор проб для определения химического состава, вырезка образцов, для исследования в заводской лаборатории и проведения механических испытаний.

3 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

3.1 Технологический процесс ТО стали 35Л

Без термической обработки сталь 35Л обычно имеет феррито-перлитную структура с видманштеттовым распределением феррита. Образованию правильно ориентированных пластин способствует крупное зерно аустенита, вследствие особенностей отливки данной стали. Одной из такой особенности является безмеханическое воздействие на изделие. Для видманштеттового феррита характерна повышенная твёрдость, выше твёрдости равновесных ферритовых зерен [3].

Исправление данной структуры, а также смягчение стали для облегчения механической обработки, снятия внутренних напряжений возможно при высокотемпературной отжиге данной стали с последующей нормализацией.

Отжигом называют процесс термообработки, при котором металл нагревают выше точки A_{c3} на 30-50 градусов, и дальнейшим охлаждением в печи.

Температура нагрева под высокотемпературный отжиг стали 35Л:

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$T_{\text{отж}} = A_{c3} + (30 \dots 50)^\circ\text{C} = 802 + (30 \dots 50)^\circ\text{C} = 832 \dots 852^\circ\text{C}.$$

После нагрева до данной температуры сталь выдерживается в течении 3...6 часов в зависимости от стенки отливки.

Затем после охлаждения с печью в течении 5 часов, до температуры 600°C деталь вынимают наружу, и дальнейшее охлаждение происходит при комнатной температуре на спокойном воздухе. Данный вид термической обработки называется нормализацией.

Термообработки стали 35Л производится по схеме, представленный на рисунке 3.1.

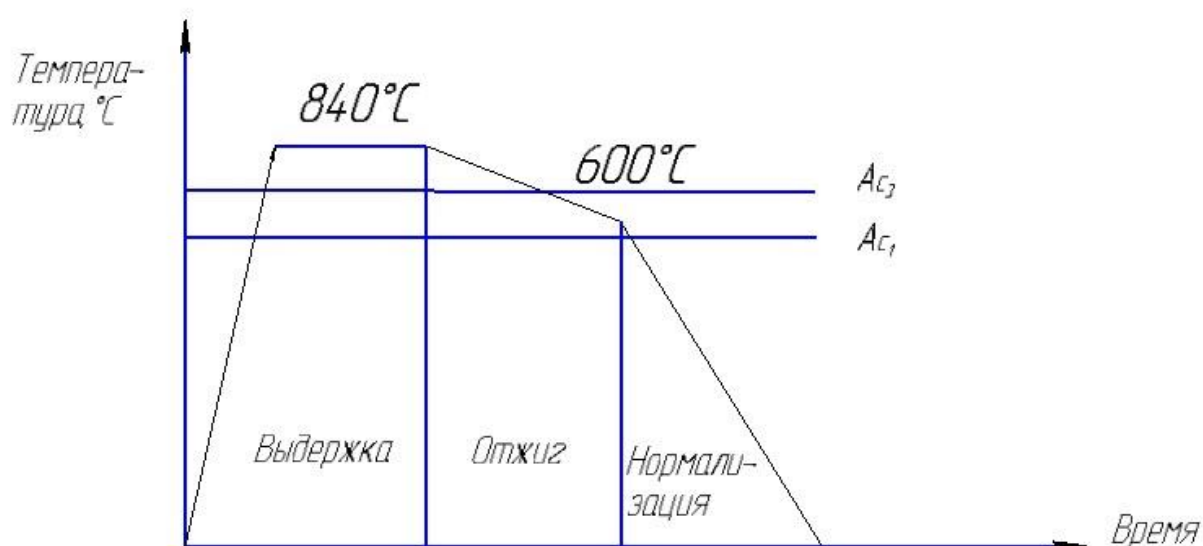


Рисунок 3.1 – Режим термической обработки стали 35Л

Нормализация, в отличие от высокотемпературного отжига процесс более быстрый, так как охлаждение происходит при относительно высокой скорости, соответственно и более производительный. Поэтому углеродистый стали целесообразно нормализировать, а не ожигать. При этом прочность и ударная вязкость нормализованной стали выше, чем отожжённой [4].

Структура стали после выбранного режима термообработки должна обеспечивать формирование ферритно-перлитной структуры, которая позволяет в дальнейшем наиболее качественно подвергнуть изделие резанию [3].

После этапа термической обработки следует произвести стадию очистки. Эта операция проводится с целью обеспечения чистоты поверхности заготовки от продуктов окисления при нагреве.

3.2 Контроль качества термической обработки

Для определения качества термической обработки используют контроль:

- контроль внешнего вида;
- контроль твердости термически обработанной детали;
- контроль микроструктуры.

После проведения термообработки проводится полный внешний осмотр изделия на наличие трещин, коробления, несоответствие размерам, коррозии, вмятин.

Контроль твердости проводится по методу Роквелла (ГОСТ 9013-59) путём вдавливания в зачищенную поверхность алмазного конуса при нагрузке $R=1470\text{H}$. Показания прибора снимают по шкале «С».

Исследование микроструктуры проходит на металлографических микроскопах, на приготовленных образцах, вырезанные из отожжённой стали. С помощью специальных шкал, разработанных для данной стали сверяется соответствие готовой продукции заданным требованиям. Так же определяется балл зерна, полученный после нормализации. Содержание углерода определяется спектральным анализом.

3.3 Возможные виды брака

Дефекты, возникающие при термической обработки, а так же способы их предупреждения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Дефекты, возникающие при термообработки, и способы их предупреждения.

Электрические печи имеют ряд преимуществ перед топливными печами: отсутствие дымовых газов не требуется дымососной системы; хорошая теплоизоляция; облегчённое регулирование температуры и сигнализации; лучшие возможности применения контролируемой атмосферы; хорошие санитарные условия в цехе.

Печь состоит из рабочей камеры, образованной футеровкой из слоя огнеупорного кирпича, несущего на себе изделия и нагреватели и изолированного от металлического кожуха теплоизоляционным слоем. Работающие в камере печи детали и механизмы, а также нагревательные элементы выполняются из жаропрочных и жароупорных сталей и других жароупорных материалов.

Наружная поверхность печи состоит из прямоугольного каркаса из листового железа. В рабочей камере печи осуществляется нагрев изделий. Она выложена огнеупорным кирпичом (шамотом). У наружных стен и над сводом рабочей камеры имеются теплоизоляционная засыпка и слой изоляционного кирпича. Электронагреватели расположены на боковых стенках, на своде и на поду печи. Питание электронагревателей производится от электрической силовой сети при помощи специальных вводов, вставленных в стенки печи. Для измерения температуры в своде печи помещают термопару. В дверце печи имеется смотровое окошко для наблюдения за нагревом изделий. Подъем дверцы для загрузки и выгрузки обрабатываемых изделий производится при помощи механизма, который приводится в действие ножной педалью. В настоящее время выпускают электрические камерные печи различных размеров и мощностей [7].

В случае расчета, применим печь СНО – 22,4.30.10/12И1 с мощностью 450 кВт и максимальной температурой нагрева 1200°C. Общий вид печи приведен на рисунке 4.1.

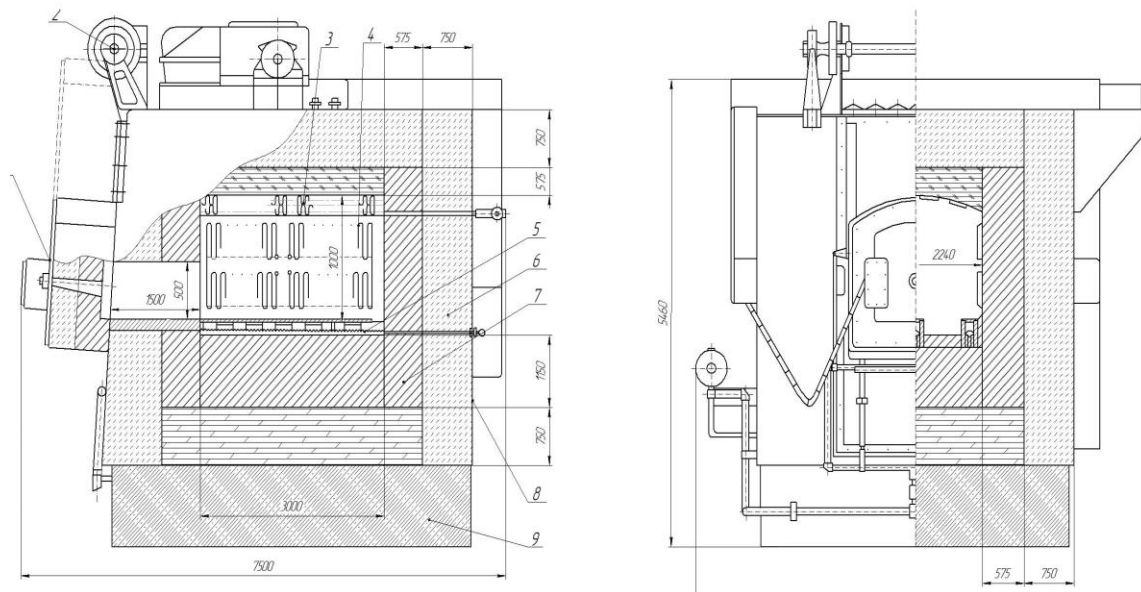


Рисунок 4.1 – Общий вид печи СНО – 22,4.30.10/12И1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150400.62.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

27

После загрузки холодного изделия в печь при помощи манипулятора происходит интенсивный нагрев его поверхностных слоев. Нагрев центральных слоев протекает с меньшей скоростью из-за термического сопротивления изделия.

Величина перепада температур по толщине изделия зависит от отношения термического сопротивления изделия к термическому сопротивлению передачи тепла к его поверхности. Чем больше указанное отношение, тем больше перепад температуры по толщине изделия. В теории теплообмена отношение внутреннего термического сопротивления к внешнему термическому сопротивлению на его поверхности определяется числом Био [8]:

$$Bi = \frac{\alpha S}{\lambda}, \quad (1)$$

где S – характерный геометрический размер изделия;

λ - эффективная теплопроводность металла, Вт/(м·К);

α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К.

За условную границу между тонкими и массивными изделиями принимается такое сечение, для которого число Био равно 0,25. Таким образом, если Био меньше 0,25, то изделие теплотехнически тонкое, если же Био больше 0,25, то изделие теплотехнически массивное.

При расчетах продолжительности нагрева изделий необходимо также знать их теплофизические свойства, прежде всего плотность γ , удельную теплоёмкость c и коэффициент теплопроводности λ . Для металлов и сплавов указанные параметры изменяются с изменением температуры. Однако при выполнении практических расчетов они принимаются постоянными.

Зная температуру нагрева металла $t_n=840^\circ\text{C}$ определим значения теплофизических констант:

$$\lambda = 27 \text{ Вт/(м·К);}$$

$$c = 0,590 \text{ кДж/(кг·К);}$$

$$\gamma = 7830 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент теплоотдачи считают равным сумме коэффициентов лучеиспусканием $\alpha_{\text{л}}$ и конвекцией $\alpha_{\text{к}}$:

$$\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}} \quad (2)$$

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием в печи с постоянной температурой определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{л}} = C_{\text{пр}} \cdot \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{Мср}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{М}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (3)$$

где $T_{\text{п}}$ – текущее значение температуры печи, К;

$T_{\text{Мср}}$ – средняя за время нагрева температура изделия, К;

$$T_{\text{Мср}} = \frac{1}{3} (t_{\text{МН}} + 2t_{\text{МК}}) + 273, \text{ К} \quad (4)$$

где $t_{\text{МН}}$ и $t_{\text{МК}}$ – температуры изделия соответственно в начале и в конце температурного интервала, °С.

$$T_{\text{п}} = 870 \text{ °С} = 1143 \text{ К};$$

$$T_{\text{Мср}} = \frac{1}{3} \cdot (20 + 2 \cdot 840) + 273 = 834 \text{ К}$$

$C_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_0}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{М}}} + \frac{F_{\text{М}}}{F_{\text{П}}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{П}}} - 1 \right)}, \quad (5)$$

где $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – константа излучения абсолютно черного тела;

$\varepsilon_{\text{М}}$ – степень черноты нагреваемого металла;

$\varepsilon_{\text{П}}$ – степень черноты кладки печи;

$F_{\text{М}}$ – тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла, м^2 ;

$F_{\text{П}}$ – поверхность, нагреваемой камеры печи, м^2 .

$$\varepsilon_{\text{М}} = 0,9; \quad \varepsilon_{\text{П}} = 0,85;$$

$$F_{\text{М}} = (2\pi \cdot R) - (2\pi \cdot r) = (2 \cdot 3,14 \cdot 2,184) - (2 \cdot 3,14 \cdot 1,560) = 3,93 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{П}} = 2 \cdot B \cdot L + 2 \cdot H \cdot L + 2 \cdot B \cdot H = 2 \cdot 1 \cdot 3 + 2 \cdot 2,24 \cdot 3 + 2 \cdot 1 \cdot 2,24 = 23,92 \text{ м}^2$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{0,9} + \frac{3,93}{23,92} \left(\frac{1}{0,85} - 1 \right)} = 5,02$$

Найдем коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием:

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$\alpha_{\text{л}} = 5,02 \cdot \frac{\left[\left(\frac{1143}{100}\right)^4 - \left(\frac{834}{100}\right)^4\right]}{1143 - 834} = 198,7, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией принимается от 10 до 15.

Принимаем, $\alpha_{\text{к}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Найдем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = 198,7 + 12 = 210,7, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Геометрический размер изделия: $S = H = 0,2 \text{ м}$.

Рассчитаем число Био:

$$Bi = \frac{210,7 \cdot 0,2}{27} = 1,56$$

Т.к. значение числа Био больше 0,25, то изделие теплотехнически «массивное».

Время нагрева теплотехнически «массивных» изделий для среднетемпературных печей рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = \frac{F_0 \cdot S^2}{a}, \text{ где} \quad (6)$$

F_0 – критерий Фурье;

S – половина толщины пластины;

a – коэффициент температуропроводности.

Температурный критерий равен:

$$\theta = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{пов}}}{t_{\text{п}} - t_0} = \frac{1143 - 1113}{1143 - 293} = 0,035$$

Из графика получаем значение критерия Фурье $F_0 = 3$

Найдём коэффициент температуропроводности

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{27}{0,590 \cdot 7830} = 0,0058$$

Рассчитаем время нагрева:

$$\tau = \frac{3 \cdot 0,1^2}{0,0058} = 5172 \text{ с} = 86,2 \text{ мин}$$

Время нагрева с учетом коэффициента укладки:

$$\tau_{\text{нагр}} = k \cdot \tau'_{\text{нагр}}$$

где k – расположения детали в рабочем пространстве печи равный для нашего случая 1,4.

$$\tau_{\text{нагр}} = 1,4 \cdot 5172 = 7240,8 \text{ с} = 120,68 \text{ мин}$$

4.3 Тепловой расчет электрической печи

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, который представляет собой уравнение, связывающее приход и расход тепла. При проектировании электрической печи тепловой баланс составляют с целью определения мощности [8].

4.3.1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла

Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла, для печей периодического действия определяется по формуле:

$$Q_M = \frac{G}{\tau_H} \cdot c_M (t_{MK} - t_{MH}), \text{ Вт}, \quad (7)$$

где G – масса всех изделий, кг;

c_M – средняя теплоемкость металла в интервале температур от t_{MH} до t_{MK} , Дж/(кг·К);

τ_H – время нагрева изделий в печи, с;

t_{MH} – начальная температура металла, °С;

t_{MK} – конечная температура нагрева металла, °С.

Рассчитаем массу нагреваемых изделий [2]:

$$G = V \cdot \gamma$$

где V – объём детали, м³; γ – плотность изделия, кг/м³

$$V = W \cdot T \cdot \pi \cdot (D + T),$$

где W – ширина венца, м;

T – толщина венца, м;

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

D – внутренний диаметр, м.

$$V = 0,2 \cdot 0,624 \cdot 3,14 \cdot (1,56 + 0,624) = 0,856, \text{ м}^3$$

$$G = 0,856 \cdot 7830 = 6701, \text{ кг}$$

$$Q_M = \frac{6701}{7240,8} \cdot 0,590 \cdot 10^3 (840 - 20) = 383\,514, \text{ Вт} = 383,51 \text{ кВт}$$

4.3.2 Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи

$$Q_{\text{кл}} = 2 \cdot Q_{\text{бок.ст.}} + 2 \cdot Q_{\text{торц.ст.}} + Q_{\text{свода}} + Q_{\text{нода}}. \quad (8)$$

Потери тепла через под и стены печи определяются по уравнению (для плоской многослойной стенки):

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{г}} - t_0}{\frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n \cdot F_n} + \frac{1}{\alpha_B \cdot F_{\text{вД}}}}, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где $t_{\text{г}}$ – температура рабочего пространства печи, °С;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С;

S_1, S_2, \dots, S_n – толщина отдельных слоев кладки, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности слоев кладки, Вт/(м К);

F_1, F_2, \dots, F_n – средние расчетные поверхности слоев кладки, м²;

α_B – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности кладки печи в окружающую среду, Вт/(м² К).

$F_{\text{НАР}}$ – наружная поверхность кладки.

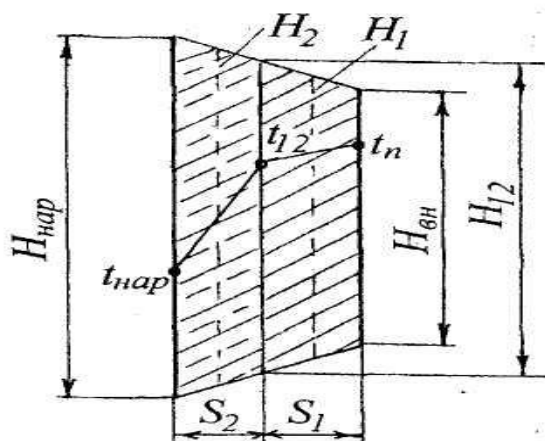


Рисунок 4.2 – Эскиз к расчету потерь тепла теплопроводностью через стенку печи

Коэффициенты теплопроводности материалов, используемых в футеровке печи, приведены в таблице 4.2

Наименование и марка материала	λ , Вт/(м·К)
Шамот класса А	$0,980+0,278 \cdot 10^{-3} \cdot t$
Диатомитовый кирпич Д-500	$0,132+0,233 \cdot 10^{-3} \cdot t$
Шамот-легковес ШЛ-1,3	$0,442+0,535 \cdot 10^{-3} \cdot t$
Шамот класса Б	$0,923+0,438 \cdot 10^{-3} \cdot t$

Средние температуры первого, второго и других слоев кладки:

$$t_1 = \frac{t_{\Pi} + t_{1,2}}{2}; \quad t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{2,3}}{2}; \quad \dots, \quad t_r = \frac{t_{r-1,r} + t_{\text{вн}}}{2}. \quad (10)$$

где $t_{1,2}, t_{2,3}, \dots, t_{n-1,n}$ – температуры между отдельными слоями кладки, °С;

t_{Π} – температура внутренней поверхности футеровки равна температуре печи, °С;

$t_{\text{нар}}$ – температура наружной поверхности кладки печи, °С.

Для того чтобы определить температуры слоев кладки и, соответственно, коэффициенты теплопроводности этих слоев, задаемся температурой наружной стенки печи и температурами на границе слоев кладки.

Далее, пользуясь формулой, определяем теплопотери через кладку. После этого уточняем полученные значения.

Тепловые потери через кладку можно представить в виде:

$$Q_{КЛ} = \frac{t_{\Pi} - t_0}{R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{НАР}}, \text{ Вт}, \quad (11)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – тепловые сопротивления слоев кладки;

$R_{НАР}$ – сопротивление передаче тепла от поверхности кладки окружающей среде.

Так как тепловой поток, проходящий через кладку, постоянен, можно записать:

$$Q_{СТ} = \frac{t_i + t_{1,2}}{R_1}; \quad Q_{СТ} = \frac{t_{1,2} + t_{2,3}}{R_2}; \quad \dots, \quad Q_{СТ} = \frac{t_{i-1,i} + t_{i,i+1}}{R_i}. \quad (12)$$

Откуда:

$$t_{1,2} = t_{\Pi} - Q_{СТ} \cdot R_1; \quad t_{2,3} = t_{\Pi} - Q_{СТ} \cdot (R_1 + R_2); \quad \dots; \quad t_{нар} = t_{\Pi} - Q_{СТ} \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n).$$

Если полученные в результате проверки температуры будут отличаться от выбранных не более чем на 10 °С, то расчет произведен правильно. Если расхождение превышает эту величину, то задаемся значениями температур $t_{нар}$, $t_{1,2}$, ..., $t_{n-1,n}$, близкими к значениям, полученным при проверке, и снова производим расчет и проверку до тех пор, пока проверка не даст хорошего совпадения [8].

а) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки боковой стенки:

$$F_{вн} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2$$

$$F_{1,2} = (1 + 2 \cdot 0,575) \cdot (3 + 2 \cdot 0,575) = 8,92 \text{ м}^2$$

$$F_{нар} = (1 + 2 \cdot 0,575 + 2 \cdot 0,75) \cdot (3 + 2 \cdot 0,575 + 2 \cdot 0,75) = 20,6 \text{ м}^2$$

$$F_1 = \sqrt{F_{вн} \cdot F_{1,2}}; \quad F_2 = \sqrt{F_{нар} \cdot F_{1,2}}$$

$$F_1 = 5,17 \text{ м}^2; \quad F_2 = 13,5 \text{ м}^2.$$

$$\alpha_{вн} = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,575 \text{ м}; \quad S_2 = 0,750 \text{ м}.$$

в) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки свода:

$$F_{\text{вн}} = 3 \cdot 2,24 = 6,72 \text{ м}^2$$

$$F_{1,2} = (3 + 2 \cdot 0,575) \cdot (2,24 + 2 \cdot 0,575) = 14,06 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = (3 + 2 \cdot 0,575 + 2 \cdot 0,75) \cdot (2,24 + 2 \cdot 0,575 + 2 \cdot 0,75) = 27,6 \text{ м}^2$$

$$F_1 = \sqrt{F_{\text{вн}} \cdot F_{1,2}} ; F_2 = \sqrt{F_{\text{нар}} \cdot F_{1,2}}$$

$$F_1 = 9,72 \text{ м}^2 ; F_2 = 19,7 \text{ м}^2$$

$$\alpha_{\text{в}} = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,575 \text{ м} ; S_2 = 0,75 \text{ м}$$

$$t_{\text{н}} = 870 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{1,2} = 680 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{нар}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{t_{\text{н}} + t_{12}}{2} = \frac{870 + 680}{2} = 775 \text{ }^\circ\text{C} = 1048,15 \text{ ,К}$$

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} \cdot 1048,15 = 1,38 \text{ ,Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_2 = \frac{t_{\text{нар}} + t_{12}}{2} = \frac{70 + 680}{2} = 375 \text{ }^\circ\text{C} = 648,15 \text{ ,К}$$

$$\lambda_2 = 0,132 + 0,233 \cdot 10^{-3} \cdot 648,15 = 0,28 \text{ ,Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{\text{свод}} = \frac{870 - 20}{\frac{0,575}{1,38 \cdot 9,72} + \frac{0,75}{0,28 \cdot 19,7} + \frac{1}{15 \cdot 27,6}} = 5\,670,3 \text{ ,Вт}$$

$$\text{Проверка: } t_{12} = 870 - 4670,3 \cdot 0,04 = 682 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{нар}} = 870 - 4\,670,3 \cdot (0,04 + 0,14) = 71 \text{ }^\circ\text{C}$$

г) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки пода:

$$F_{\text{вн}} = 2,24 \cdot 3 = 6,72 \text{ м}^2$$

$$F_{1,2} = (2,24 + 2 \cdot 1,15) \cdot (3 + 2 \cdot 1,15) = 24,062 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = (2,24 + 2 \cdot 1,15 + 2 \cdot 0,75) \cdot (3 + 2 \cdot 1,15 + 2 \cdot 0,575) = 38,95 \text{ м}^2$$

$$F_1 = \sqrt{F_{\text{вн}} \cdot F_{1,2}} ; F_2 = \sqrt{F_{\text{нар}} \cdot F_{1,2}}$$

$$F_1 = 12,7 \text{ м}^2 ; F_2 = 30,6 \text{ м}^2$$

$$\alpha_{\text{в}} = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 1,15 \text{ м} ; S_2 = 0,75 \text{ м}$$

$$t_{\text{н}} = 870 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{1,2} = 320 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{нар}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150400.62.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

37

$$t_1 = \frac{t_n + t_{12}}{2} = \frac{870 + 320}{2} = 595^\circ\text{C} = 868 \text{ ,К}$$

$$\lambda_1 = 0,980 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 868 = 1,22 \text{ ,Вт/(м·К)}$$

$$t_2 = \frac{t_{\text{нар}} + t_{12}}{2} = \frac{70 + 320}{2} = 195^\circ\text{C} = 468 \text{ ,К}$$

$$\lambda_2 = 0,442 + 0,535 \cdot 10^{-3} \cdot 468 = 0,692 \text{ ,Вт/(м·К)}$$

$$Q_{\text{под}} = \frac{870 - 20}{\frac{1,15}{1,22 \cdot 12,7} + \frac{0,75}{0,692 \cdot 30,6} + \frac{1}{15 \cdot 38,95}} = 9966,26 \text{ ,Вт}$$

Проверка: $t_{12} = 870 - 9966,26 \cdot 0,07 = 312^\circ\text{C}$

$$t_{\text{нар}} = 870 - 9966,26 \cdot (0,07 + 0,035) = 29^\circ\text{C}$$

Рассчитаем тепловые потери через кладку:

$$Q_{\text{кл}} = 2 \cdot 2805,3 + 2 \cdot 2367 + 5670,3 + 9966,26 = 42981,16 \text{ ,Вт}$$

4.3.3 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно

Определяются по формуле (13):

$$Q_{\text{ЛНЧ}} = C_0 \cdot \varepsilon \cdot \psi \cdot F_{\text{отв}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{П}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{В}}}{100} \right)^4 \right] \cdot \Delta \tau, \text{ Вт}$$

где ε – степень черноты излучающего тела;

$F_{\text{отв}}$ – площадь поперечного сечения отверстия, м²;

$T_{\text{П}}, T_{\text{В}}$ – температура соответственно печи и окружающего воздуха, К ;

$\Delta \tau$ – доля времени, в течение которого окно открыто, с/с;

ψ – коэффициент диафрагмирования, зависящий от соотношения ширины и высоты отверстия и от толщины стенки [8].

$$F_{\text{отв}} = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ м}$$

Примем степень черноты излучающего тела $\varepsilon = 0,8$.

Коэффициент диафрагмирования загрузочного окна: 0,9

Примем $\tau_{\text{откр}} = 4 \text{ мин} = 240 \text{ с}$ и $\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{выд}} = 7240,8 + (0,25 \cdot 7240,8) = 9051 \text{ с}$.

Долю времени, в течение которого окно открыто, определяем по формуле:

$$\Delta\tau = \tau_{\text{откр}} / \tau_{\text{общ}} \quad (14)$$

$$\Delta\tau = 240 / 9051 = 0,027$$

Таким образом,

$$Q_{\text{луч}} = 5,67 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot \left[\left(\frac{1143}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,027 = 6,404 \text{ , Вт.}$$

4.3.4 Потери тепла вследствие коротких замыканий $Q_{\text{ткз}}$

Эти потери вызваны нарушением сплошности изоляции в тех местах, где через кладку проходят переемычки из более теплопроводных материалов: термодарные трубки, выводы нагревателей, направляющие, оси роликов, выходящие из печи, закалочные желобы и т.п. В большинстве случаев такие потери не могут быть точно учтены и их принимают обычно равными 50...100% от потерь теплоты через стенки, то есть:

$$Q_{\text{ткз}} = (0,5 \dots 1,0) \cdot Q_{\text{кл}}, \text{ Вт.} \quad (15)$$

Примем потери тепла вследствие коротких замыканий 0,5 от $Q_{\text{ст}}$, тогда

$$Q_{\text{ткз}} = 0,8 \cdot 22981,16 = 11 \text{ 490 Вт}$$

Данные статей прихода и расхода, полученные в результате расчетов, приведены в таблице 4.3.

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Статьи прихода	кВт	%	Статьи расхода	кВт	%
Теплота, выделившаяся в нагревательных элементах	454,385	100	Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	383,51	10,3
			Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи	42,981	60
			Потери тепла через открытое грузочное окно	6,404	2,5
			Потери тепла вследствие коротких замыканий	21,490	27,8
Итого	454,385	100	Итого	454,385	100

4.4 Расчет КПД электрической печи

Из составленного теплового баланса печи найдем ее коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{Q_M}{Q_{\text{расх}}} \cdot 100, \%. \quad (16)$$

$$\eta = \frac{383,51}{454,385} \cdot 100\% = 80,4 \%$$

Установленная мощность электрической печи:

$$N_{\text{уст}} = k \cdot N_{\text{расч}} \quad (17)$$

$N_{\text{расч}}$ - общий расход теплоты, Вт (кВт);

Для печей с мощностью меньше 300 кВт принимают $k = 1,2 - 1,4$.

Примем $k = 1,3$

$N_{уст} = 1,3 \cdot 483,574 = 628,6$,кВт.

5 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

После термической обработки, венец зубчатый отправляется в блок механических цехов, где проходит следующие операции:

1. Механическая обработка поверхностей на токарно-карусельных станках с программным управлением
2. Разметочная операция необходимых отверстий разметчиком
3. Сверление отверстий соответствующих чертежу, на вертикально-сверлильном станке
4. Нарезание зубьев на зубофрезерном станке
5. Зачистка заусенцев шарошками и наждачными кругами
6. Предъявление ОТК и приёмка готовой детали
7. Консервация детали: необработанные поверхности покрывают нитроэмалью, обработанные - антикоррозийной смазкой

После проведения всех операций по производству зубчатого венца, деталь отправляется на заводской склад готовой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Описанные в данном проекте технологические операции, схемы производства позволяют получить изделие «Венец зубчатый» соответствующих размеров и определённых характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

					150400.62.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

1. Бернштейн, М.Л. *Металловедение и термическая обработка стали* / М.Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. – т.2 – Москва: Изд-во Металлургиздат, 1962.– 1656 с.
2. Тылкин, М.А. *Справочник термиста ремонтной службы* / М.А. Тылкин – Москва: Изд-во Металлургия, 1981. – 648 с.
3. Смирнов, М.А. *Основы термической обработки стали: Учебное пособие* / М.А. Смирной, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев – Екатеринбург: УрО РАН, 1999 – 496 с.
4. Корягин, Ю.Д. *Тепловые и электрические расчеты термических печей: учебное пособие* / Ю.Д. Корягин. – 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 178 с
5. Воскобойников, В.Г. *Общая металлургия: учебник для вузов* / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. – 6 – изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768 с..
6. Рошин, В.Е. *Электрометаллургия и металлургия стали: учебник* / В.Е. Рошин., А.В. Рошин. – 4е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 572 с
7. Луканин, В. Н. *Теплотехника: учебник* / В.Н. Луканин., М.Г. Шатров. – 2е изд., перераб. – Москва: Высш. шк., 2000. – 671 с.
8. Корягин, Ю.Д. *Тепловые и электрические расчеты термических печей: учебное пособие* / Ю.Д. Корягин. – 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 178 с