

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное автономное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ Г.Г.Михайлов
_____ 2019 г.

Технология изготовления днищ штампованных 1420 из стали
10Г2ФБЮ
(НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.03.02.2019.547.ПЗ ВКР

Руководитель работы,

_____ (Созыкина А.С.)
_____ 2019 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ - 547

_____ (Брюханчиков А.А.)
_____ 2019г.

Нормоконтролер, (доцент)

_____ (Созыкина А.С.)
_____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Брюханчиков А. А. Технология изготовления днищ штампованных 1420 из стали марки 10Г2ФБЮ. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ – 547, 2019, 53 с., 13 ил., 16 табл., библиографический список – 11 наим.

В выпускной квалификационной работе изучен процесс изготовления штампованного днища диаметром 1420 мм с толщиной стенки 30 мм.

Дано описание требований, предъявленных к материалу, дана общая характеристика используемого материала и его применение, выбран режим термообработки, произведен выбор и расчет оборудования.

Днище изготавливается из листового проката, материал изготовления листового проката сталь 10Г2ФБЮ.

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Брюханчиков А.А.</i>			<i>Технология изготовления днищ штампованных 1420 из стали марки 10Г2ФБЮ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Листов</i>	<i>Лист</i>
<i>Провер.</i>		<i>Сазыкина А.С.</i>				<i>В</i>	<i>53</i>	<i>4</i>
<i>Н.конт.</i>						<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Михайлов Г.Г.</i>				<i>группа ПЗ-547</i>		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	7
1.1 Анализ условия работы детали и требования, предъявленные к материалу	7
1.2 Описание выбранной стали	7
1.3 Влияние углерода, легирующих элементов и примесей на свойства стали 10Г2ФБЮ	9
2 ВЫПЛАВКА	14
2.1 Производство полупродукта в основной электродуговой печи ДСП-110	14
2.2 Рафинирование и доводка стали до требуемого химического состава на агрегате печь-ковш	16
2.3 Разливка на одноручьевой вертикальной слябовой машине непрерывного литья заготовки	19
3 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	21
3.1 Холодная прокатка листов	21
3.2 Входной контроль	22
3.3 Вырезка заготовок	22
3.4 Нагрев и штамповка	23
4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	25
4.1 Термическая обработка	25
4.2 Обоснование выбора термического оборудования	29
4.3 Расчетная часть	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	53

ВВЕДЕНИЕ

Термическая обработка – это одна из важнейших этапов производства проката, инструментов, деталей машин и стальных изделий.

Так с помощью термической обработки можно добиться требуемых свойств исследуемого днища относительно дешёвым способом, при этом можно обойтись (либо существенно снизить) легированием дорогостоящими элементами, и понизить её стоимость благодаря уменьшению массы изделия.

Целью выпускной квалификационной работы является технология изготовления днищ штампованных 1420 из стали марки 10Г2ФБЮ.

Эффективность этого процесса во многом зависит от режимов и параметров термической обработки. Именно поэтому разработка технологии термической обработки днища является важной задачей производственного процесса в целом.

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		6

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ условия работы детали и требования, предъявленные к материалу

Штампованное днище диаметром 1420 мм с толщиной стенки 30 мм являются замыкающим конструктивным элементом магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

Материал - листовой прокат стали 10Г2ФБЮ - должен обладать удовлетворительной свариваемостью, углеродный эквивалент до 0,4, так же соответствовать группе прочности К60 [1].

1.2 Описание выбранной стали

Сталь 10Г2ФБЮ является легированной конструкционной сталью для сварных конструкций.

Химический состав стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав листового проката [1]

Марка стали	Массовая доля элементов x100, %													
	C	Mn	S	P	N	Ni	Cu	Si	Cr	V	Nb	Al	Pcm	Сэkv
	не более или в пределах													
10Г2ФБЮ	0,07	1,56	0,002	0,011	0,006	0,21	0,18	0,28	0,14	0,04	0,03	0,038	0,18	0,40

Механические свойства после термообработки стали 10Г2ФБЮ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства листового проката [1]

Параметры	Основной металл	
Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	550	550
Среднее значение	550,0	
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	435	435
Среднее значение	435,0	
Относительное удлинение, %	24,0	21,0
Среднее значение	22,5	

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>					Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						7

Окончание таблицы 2

Параметры	Основной металл		
	Отношение, $\sigma_{0,2}/\sigma_B$	0,79	
Среднее значение	0,79		
Ударная вязкость КСU-60°С, Дж/см ²	311	305	295
Среднее значение	303,7		
Ударная вязкость КСV-20°С, Дж/см ²	309	303	294
Среднее значение	302,0		

Обозначения:

σ_B – временное сопротивление, [МПа];

$\sigma_{0,2}$ – предел текучести условный с допуском на величину пластической деформации при нагружении 0,2%, [МПа];

δ – относительное удлинение при разрыве, [%];

ψ – относительное сужение, [%];

КСU – ударная вязкость, определенная на образцах с концентратором вида U, при температуре -60°С [Дж/см²].

На рисунке 1 приведена диаграмма изотермического распада аустенита стали 35Г2Ф, наиболее близкой к 10Г2ФБЮ [2].

Критическую скорость закалки находим по данным диаграммы изотермического распада аустенита (см. рисунок 1).

$$V_{ВКЗ} = (A_1 - t_{\min})/1,5\tau = (715 - 420)/1,5 \cdot 6 = 33 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$$

В стали 10Г2ФБЮ содержание углерода ниже, чем в 35Г2Ф, что сдвинет с-образные кривые вправо, так же содержание бора в данной марке приведет к сдвигу с-образных кривых вправо, на основании этого можем сделать вывод, что верхняя критическая скорость закалки будет не больше, чем 33 °С/с.

C	S _L	Mn	Cr	V	A ₁	A ₃	M _H	T _H
0,35	0,28	1,65	0,27	0,15	715	770	320	850

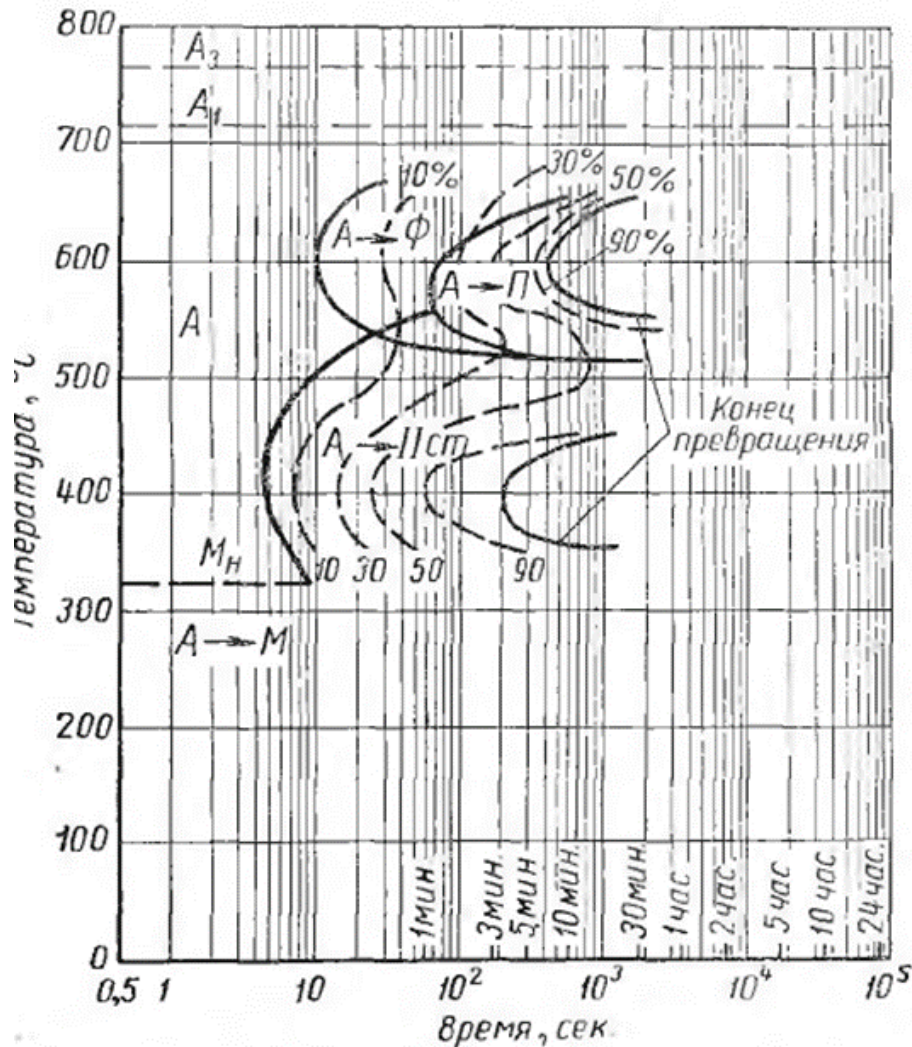


Рисунок 1 – Диаграмма изотермического распада аустенита стали 35Г2Ф [2]

1.3 Влияние углерода, легирующих элементов и примесей на свойства стали 10Г2ФБЮ

Сталь, содержащая один или несколько легирующих элементов, вводимых для придания изделию определенных физико-механических свойств, называется легированной. Содержание некоторых элементов, когда они не являются легирующими, не должно превышать: кремния (Si) – 0,5%; марганца (Mn) – 0,8%;

хрома (Cr) 0,3%; никеля (Ni) – 0,3%; меди (Cu) – 0,3%. Как правило, лучшие свойства обеспечивает комплексное легирование.

Легирование сталей и сплавов используют для улучшения их технологических свойств. Легированием можно повысить предел текучести, ударную вязкость, относительное сужение и прокаливаемость, а также существенно снизить скорость закалки, порог хладноломкости, деформируемость изделий и возможность образования трещин. В изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15...20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем механические свойства углеродистых сталей [3].

Влияние углерода

Углерод является важнейшим элементом, определяющим как структуру, так и все свойства стали: ее прочность и поведение при эксплуатации в производстве.

Микроструктура медленно охлажденной (отожженной) стали с содержанием углерода до 0,8% состоит из феррита и перлита, причем с увеличением содержания углерода площади, занимаемые перлитом, увеличиваются, а занимаемые ферритом, - уменьшаются. При содержании углерода около 0% микроструктура стали состоит только из зерен феррита; в микроструктуре стали с 0,1 % C, кроме больших светлых зерен феррита, содержится незначительное количество перлита.

От соотношения площадей феррита и перлита зависят механические свойства стали. По мере увеличения количества углерода и перлита в стали предел прочности σ_B и предел прочности σ_T при растяжении возрастают, а удлинение δ и сужение ψ возрастают (рисунок 2).

Марганец считается легирующим элементом при содержании его в стали более 1 %. Повышает прочностные свойства стали, повышает устойчивость аустенитной структуры, увеличивает прокаливаемость. Его отрицательное влияние проявляется в том, что он понижает пластичность и способствует росту зерен. Увеличение содержания марганца до 10...15% позволяет получить вязкую и прочную аустенитную сталь с большой сопротивляемостью к ударам и эрозии [4].

Влияние ванадия и ниобия

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

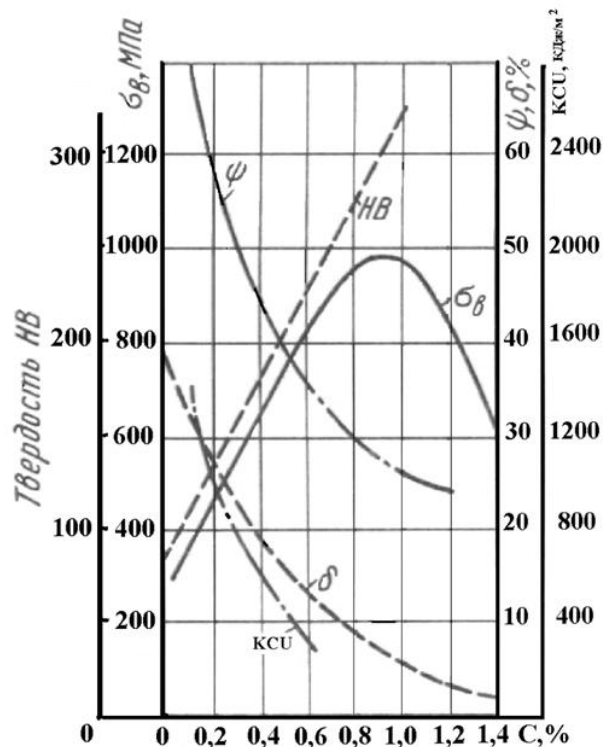


Рисунок 2 – Влияние углерода на свойства стали [5]

При введении в сталь ванадия и ниобия образуются труднорастворимые в аустените карбиды, что вызывает измельчение зерна, снижение порога хладноломкости, уменьшение чувствительности стали к концентраторам напряжений. Однако этот эффект проявляется лишь при малом содержании этих легирующих химических элементов в стали (до 0,15 %). При большем количестве они вызывают снижение прокаливаемости и сопротивления стали хрупкому разрушению, что обусловлено выделением по границам зерен значительного количества карбидов типа MeC [5].

Влияние алюминия

Алюминий уменьшает размер зерен, способствует получению мелкозернистой структуры, таким образом, увеличивает жаропрочность и повышает прокаливаемость стали. Таким образом, влияя на размер зерна стали, алюминий обеспечивает допустимые показатели пластичности и вязкости.

Наибольшее распространение алюминий получил в качестве раскислителя. Введение алюминия позволяет удалить вредные примеси: азот и кислород. При соединении алюминия с кислородом образуется Al_2O_3 , который является концентратором напряжений.

Алюминий уменьшает размер зерен, придавая повышенную жаропрочность. Содержание Al ниже определенного уровня повышает физико-механические свойства стали. Однако содержание Al менее 0,002% ухудшает ее свойства. При содержании Al в стали 0,02...0,7% – подавляется процесс старения стали. Алюминий позволяет увеличить окалиностойкость.

Влияние серы

Сера, как и фосфор, попадают в металл из руд. При комнатной температуре растворимость серы в феррите практически отсутствует. Поэтому вся сера в стали связана в сульфиды железа и марганца и частично в сульфиды легирующих элементов. С повышением температуры сера растворяется в феррите и аустените, хотя и незначительно, но до вполне определенных концентраций (0,02 % в феррите при $913^{\circ}C$ и 0,05 % в аустените при $1365^{\circ}C$). Поэтому сернистые включения могут видоизменяться при термической обработке стали.

Если сера связана в сульфид железа FeS, при относительно низких температурах горячей деформации стали, вследствие расплавления эвтектики сульфида железа ($988^{\circ}C$), наблюдается красноломкость стали. При более высоких температурах горячей пластической деформации возможна горячеломкость стали.

Увеличение содержания серы в стали мало влияет на прочностные свойства, но существенно изменяет вязкость стали и ее анизотропию в направлениях поперек и вдоль прокатки.

Ударная вязкость на образцах, вырезанных поперек направления прокатки, уменьшается с увеличением содержания серы. А в продольном направлении с увеличением содержания серы наблюдается тенденция к повышению ударной вязкости. Это явление связано с усилением полосчатости феррито-перлитной структуры вследствие вытянутости сульфидов в строчки вдоль прокатки.

Влияние фосфора

Руды железа, а также топливо и флюсы содержат какое-то количество фосфора, которое в процессе производства чугуна остается в нем в той или иной степени и затем переходит в сталь. Растворимость фосфора в феррите и аустените значительно выше, чем содержание фосфора в стали как примеси. Поэтому фосфор в стали целиком находится в твердом растворе, и его влияние на свойства сказывается через изменения свойств феррита и аустенита. Вредное действие фосфора на свойства может усугубляться из-за сильной склонности его к ликвации.

Действие фосфора на свойства феррита проявляется в его упрочняющем влиянии и, особенно в усилении хладноломкости стали.

Фосфор относится к сильным упрочнителям. Несмотря на то, что содержание его в стали обычно не превышает 0,030...0,040 %, он увеличивает предел текучести феррита на 20...30 МПа. В то же время увеличение содержания фосфора в пределах сотых долей процента может вызывать повышение порога хладноломкости на несколько десятков градусов ($\sim 20...25^{\circ}\text{C}$ на 0,01 % P) благодаря сильному уменьшению работы распространения трещины.

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

2 ВЫПЛАВКА

Производство заготовок имеет следующую технологическую схему: производство полупродукта в основной электродуговой печи ДСП-110, рафинирование и доводка стали до требуемого химического состава на агрегате печь-ковш, разливка на одноручьевой вертикальной слябовой машине непрерывного литья заготовки, прокатка листов, штамповка заготовок.

2.1 Производство полупродукта в основной электродуговой печи ДСП-110

Установка полностью укомплектованной электродуговой сталеплавильной печи и соответствующих вспомогательных узлов позволяет:

- увеличить производительность сталеплавильного производства при соответствующем сокращении расходов;
- повысить качество получаемого металла за счет применения эргономических решений;
- улучшить рабочие условия.

Все вышеуказанное достигается за счет применения современных принципов организации сталеплавильного производства.

Для этого на корпусе печи устанавливаются определенные устройства, позволяющие получать дополнительную энергию и сократить как длительность плавки от выпуска до выпуска, так и потребление электроэнергии. Рассмотрим основные технические и технологические характеристики вышеперечисленных агрегатов.

Дуговая сталеплавильная печь с основной футеровкой, номинальная садка печи имеет 100 тонн, с учётом допустимого перегруза – 120 тонн, на выпуске - 110 тонн (остальной металл остаётся в печи в качестве «болота»).

В таблице 3 представлены технологические характеристики электросталеплавильного комплекса.

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		14

Таблица 3 – Технологические характеристики электросталеплавильного комплекса [6]

Технико-экономические показатели	Ед. изм.	Значение показателя
Производственная программа		
Фактическое время работы	сут.	320,5
Время плавки	мин	60
Суточная производительность ЭСПК	т/сут	2760
Объем производства стали в год	т	884580

Качество металлической шихты, ферросплавов, окислителей, шлакообразующих и заправочных материалов, используемых при выплавке стали, должно соответствовать требованиям нормативно-технической документации.

Не допускается к использованию шихты, загрязнённая цветными металлами. Используемые шихтовые материалы должны удовлетворять следующим требованиям: Максимальная масса кусков шихты, используемой на плавку, не должна превышать 30% от массы садки (с учетом загрузки завалочных устройств). Количество крупной шихты не должно превышать 40 % завалки. Размер кусков привозного углеродистого скрапа должен быть не более 600x350x250 мм. Размер используемых прессованных пакетов должен быть не более 500x500x600 мм, плотность пакетов не менее 2 г/см³.

Размер кусков оборотного скрап из прокатного цеха (обрези): толщина куска 50...300 мм, ширина не более 1000 мм, длина не более 1500 мм. Допускается использование стружки (без масла и воды) длиной 50...100 мм. Суммарное содержание примесей, не удаляемых в процессе плавки, не должно превышать значений, установленных химическим составом выплавляемой стали, с учетом примесей, вносимых ферросплавами. Перед завалкой шихты в печь мастер по плавке обязан записать химический состав ферросплавов, шихты, номера вагонов или автомобилей с шихтой, номера корзин, произвести в плавильной карте расчет элементов, вносимых составляющими металл шихты. Расчет шихты производится на содержание в шихте углерода не менее 0,85 %.

Содержание в металл шихте элементов, не удаляемых в процессе выплавки металла, не должно превышать значений заданного химсостава. Требуемое содержание углерода по расплавлению шихты обеспечивается введением в металл шихту углеродосодержащих добавок (чугоном, электродным боем, кусковым коксом из расчета не более 15 кг/т).

2.2 Рафинирование и доводка стали до требуемого химического состава на агрегате печь-ковш

Плавка и рафинирование металла происходит непрерывно под вспененным шлаком. С применением установки «Consteel» лом расплавляется быстро по мере его падения в расплав металла. Плавление металлошихты обеспечивается энергией, выделяемой электрической дугой и энергией от окисления углерода и других химических элементов. Стабильный ход химических реакций с выделением большого количества энергии обеспечивается интенсивной продувкой жидкой ванны газообразным кислородом и интенсивной подачей углеродосодержащих материалов с последующим их окислением.

Для науглераживания жидкого металла в ДСП, предусмотрена подача углеродосодержащих материалов через сводовое отверстие предназначенное для загрузки материалов. При правильном энергетическом режиме ведения плавки (соответствие ввода энергии и скорости загрузки металлошихты) и поддержание постоянно вспененного шлака, в печи не остается нерасплавленных кусков лома. Результатом является стабильная дуга, очень малые помехи в электросети и пониженные требования к электрооборудованию для снижения флуктуации напряжения, ведущим к гармоникам. Рост гармоник тока, подаваемого на электроды, означает недостаточное вспенивание шлака. «Анализ гармоник непрерывно регистрирует гармоники на всех трех фазах и сообщает оператору о превышении заданных значений. Температура ванны поддерживается в пределах оптимального хода основных реакций, в то же время образующийся газ CO, способствует

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

перемешиванию жидкой ванны, вспениванию шлака и дожигается в камере подогрева шихты конвейера.

В течение всего процесса, содержание углерода в расплаве обычно около 0,15%. К концу процесса содержание углерода приводится к желаемому уровню. При должном обеспечении вспенивания шлака в ходе непрерывной переплавки металлошихты достигается низкий уровень содержания серы и фосфора. Низкое содержание азота достигается благодаря постоянному спокойному зеркалу металла под постоянно вспененным шлаком.

Агрегат ковш-печь (АКП-110) предназначен для внепечной обработки стали в ковше, включающей в себя доводку металла по химсоставу и нагрев его до до заданной температуры.

По прибытии ковша на установку “печь-ковш”, и подключения продувочных фурм к трассе, регулируется подача аргона. Продувка металла аргоном устанавливается с расходом до 300 л/мин и не должна приводить к выбросам металла и шлака из стальной ковша и оголению зеркала металла.

Далее производится измерение температуры стали, для последующего выбора ступени напряжения. После включения установки «печь-ковш» проводится наведение основного слоя шлака. Присадка шлакообразующих для наведения основного белого рафинировочного шлака производится через систему высотных бункеров кусковой известью с общим расходом от 5 до 8 кг/т и плавиковым шпатом в количестве от 1 до 1,5 кг/т в соотношении $CaO / CaF_2 = 5/1$. Раскисление шлака производится раскисляющей смесью порциями массой от 15 до 30 кг в количестве до 200 кг на плавку.

Основность шлака в ковше после раскисления должна поддерживаться в пределах от 3 до 5. В период нагрева металла проводится доводка его по химическому составу присадками науглероживателя и ферросплавов через систему высотных бункеров. При присадке материалов в ковш происходит снижение температуры. При корректировке стали по содержанию химических элементов, во время отдачи ферросплавов в ковш, расход инертного газа увеличивают на 30 – 50

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата		17

л/мин (но не более 300л/мин.) и выдерживают не менее 5 минут. Затем отбирается проба на полный химический анализ.

После доводки стали по содержанию химических элементов, вводят порошковую проволоку с наполнителем, в состав которого входит силикокальций (СК-30, 25, 15), для модификации глиноземистых включений. Скорость ввода проволоки на трайбаппарате устанавливается от 3,0 до 4,5 м/с. Расход проволоки в метрах определяется согласно рекомендованным значениям технологической карты выплавки, для конкретной марки стали. После присадки порошковой проволоки, металл в стальковше продувается не менее 3-х минут, затем с требуемой температурой передается на МНЛЗ [6].

Технические данные агрегата ковш-печь АКП-110 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики агрегата ковш-печь [6]

Наименование параметра	Величина	Примечание
Емкость ковша, т	110	120 max
Диаметр кожуха ковша в верхней части, мм	3700 ⁺¹⁰	
Номинальная мощность трансформатора, МВА	18	+ 10%
Номинальное первичное напряжение трансформатора, Кв	10	
Диапазон вторичных напряжений, В	318,5...132,5	
Номинальная сила тока электрода, кА	32,6	+ 10%
Диаметр электрода, мм	400	
Диаметр распада электродов, мм	700	
Скорость нагрева металла, град/мин.	3...4	Расчетная
Номинальное давление рабочей жидкости гидропривода, Мпа	10	
Расход охлаждающей воды (без учета трансформатора), м ³ /ч	220	Расчетная
Давление воды на охлаждение, МПа:		
- свода и элементов вторичного токоподвода,	0,6	
- трансформатора.	0,25	
Температура охлаждающей воды на сливе, град.С	не более 55	
Расход электродов, кг/т	0,3...0,5	
Расход электроэнергии, квт.ч/т	40...50	
Расход азота, нм ³ /ч	2100...2600	
Давление азота, Мпа	0,3...0,4	
Давление воздуха, Мпа	0,4...0,6	

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

22.03.02.2019.423.000 ПЗ

лист

18

Расход аргона на продувку металла, м ³ /ч	5...25	
Давление аргона на продувку металла, МПа	0,6;1,2...1,5	

2.3 Разливка на одноручьевой вертикальной слябовой машине непрерывного литья заготовки

Время нахождения металла в сталеразливочном ковше от выпуска из ДСП до начала разливки на МНЛЗ составляет не более 120 минут, но, при необходимости, оно может быть увеличено до 180 минут.

После полной доводки стали по химическому составу и нагреве до необходимой температуры отключается подача электроэнергии на электроды, отключается подача инертного газа, поднимается свод АКП. Сталевоз с жидким металлом транспортируется в положение передачи на МНЛЗ.

Передача жидкого металла и постановка металла на поворотный стенд МНЛЗ осуществляется не ранее чем за 15 минут до окончания разливки предыдущей плавки и не ранее чем за 10 минут до начала разливки 1-й (запускной) плавки.

Таблица 5 – Основные технические данные МНЛЗ [7]

Количество ручьев, шт.	1
Радиус разливочной дуги, м.	8
Металлургическая длина машины, м.	25,68
Размерный сортамент отливаемых слябов	180x900 – 1600 мм 240x900 – 1600 мм длина слябов 4,5÷6,8 м
Скорость разливки	1,72-2,17 м/мин – для сляба толщиной 180 мм 0,97-1,22 м/мин – для сляба толщиной 240 мм
Емкость сталеразливочного ковша, т	110
Вес плавки, т	100
Цикл разливки, мин	50 - 60
Емкость промежуточного ковша, т	27 - 30
Кристаллизатор	прямой с изменением ширины и толщины
Механизм качания	Гидравлический

22.03.02.2019.423.000 ПЗ

лист

Тип заправки	Цепная
Вид резки заготовок	Газовая

МНЛЗ оснащена подъемно-поворотным стендом с независимым подъемом кронштейнов для приема сталеразливочных ковшей и манипулятором для установки на них крышек. Разливка стали может осуществляться методом «плавка на плавку» полностью закрытой струей, то есть с применением защитной трубы, погружного стакана, с добавлением разливочного порошка и в защитной среде аргона. Расчет максимальных скоростей разливки выполняется отдельно для толщин слябов 180 мм и 240 мм при этом максимально допустимые скорости разливки рассчитаны из условия принятой конструктивно металлургической длины МНЛЗ, равной 25,68 м, чтобы жидкая фаза слитка не попала в зону действия машины газовой резки [7].

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		20

3 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

3.1 Холодная прокатка листов

Холодная прокатка листов осуществляется листовым методом. Для него применяются реверсивные четырехвалковые станы.

Современный цех для производства тонких холоднокатаных листов и полос, кроме непрерывного стана с четырехвалковыми клетями, включает агрегаты травления, термической обработки, дрессировки, поперечной и продольной резки, сортировки листов, нанесения защитных покрытий и другое оборудование.

На непрерывных станах холодной прокатки диаметр рабочих валков, изготавливаемых из высоколегированных сталей (типа 9Х2МФ) и имеющих твердость поверхности бочки до 100 ед. по Шору, достигает 660 мм. Диаметр опорных валков равен 1300 – 1600 мм. Эти валки изготавливают или составными (внутренние валы из ковanej стали типа 9Х), или цельнолитыми. Твердость поверхности бочки опорных валков HSh 70.

Шейки рабочих валков устанавливают обычно на роликовых подшипниках качения, опорных — на подшипниках жидкостного трения. Скорость перемещения нажимных винтов до 15 – 20 мм/мин с точностью их останова $\pm 0,01$ мм. Уравновешивание верхних рабочего и опорного валков гидравлическое. Рабочие валки приводятся от индивидуальных электродвигателей (одного или двух) постоянного тока мощностью до 4800 кВт каждый с регулированием скорости вращения в больших пределах через шестеренную клеть и универсальные шпиндели. Расстояние между рабочими клетями определяется исходя из технологических параметров стана и составляет примерно 4 м.

Холодная прокатка рулонной листовой стали производится со значительным натяжением полосы между клетями и между последней клетью и моталкой, для чего установлены пресспроводки.

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		21

Прокатка без натяжения невозможна, так как полоса теряет устойчивость в валках. Кроме того, натяжение обеспечивает значительное уменьшение давления металла на валки, что позволяет прокатывать полосу с высокими обжатиями за каждый проход (заметим, что заднее натяжение снижает величину давления металла на валки больше, чем переднее) и способствует плотному сматыванию листовой стали. Удельное натяжение при холодной прокатке обычно не превосходит 50 – 60 % предела текучести прокатываемого металла в данном состоянии.

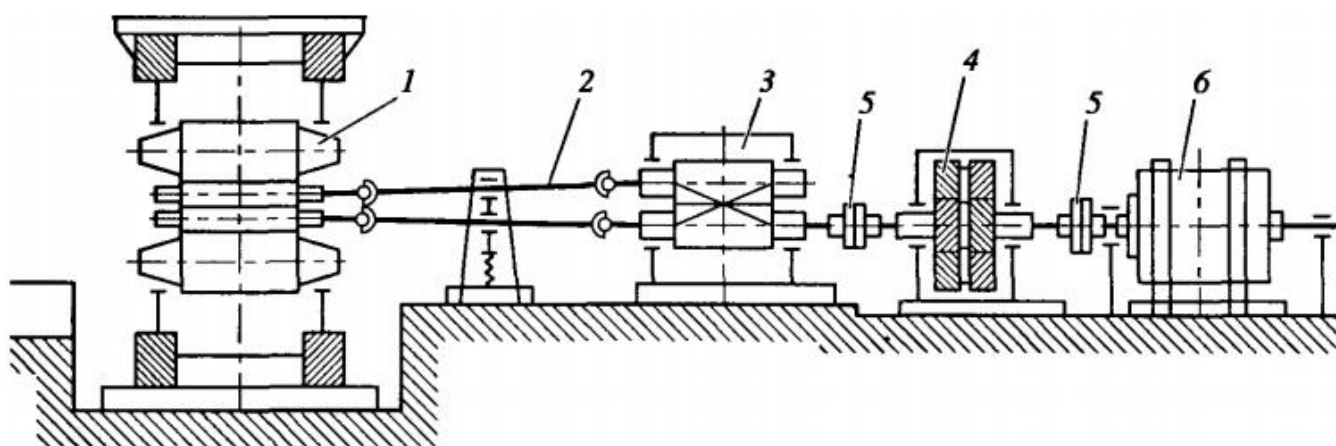


Рисунок 3 – Схема главной линии прокатки клетки

3.2 Входной контроль

Первым этапом изготовления штампованного днища $\text{Ø}1420 \times 30$ является проведение входного контроля листового проката. При прохождении входного контроля проверяется химический состав и механические свойства на соответствие данным сертификата, проводится визуальный измерительный контроль поверхности листа.

3.3 Вырезка заготовок

После проведения входного контроля листовая прокат передается на участок вырезки заготовки. Портальная машина газокислородной резки SUPRAREX вырезает заготовку согласно заданному раскрою (рисунок 4).

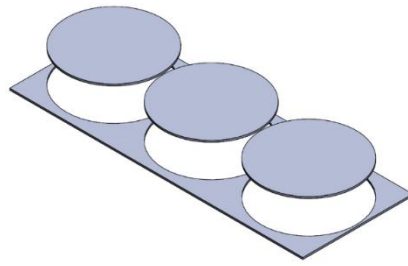


Рисунок 4 – Вырезка заготовки днища

3.4 Нагрев и штамповка

Вырезанная заготовка укладывается в газовую печь LOI WH-41, нагревается до температуры 950°C по сводовой термопаре печи, и выдерживается 45 минут.

Далее при помощи погрузчика, заготовка достается из печи и передается на гидравлический пресс ИТЕМ: 4000-1200TON (рисунок 5), укладывается на рабочий стол пресса и обжимается матрицей и пуансоном.



Рисунок 5 – Гидравлический пресс

На выходе из пресса заготовка приобретает эллиптическую форму (рисунок 6).

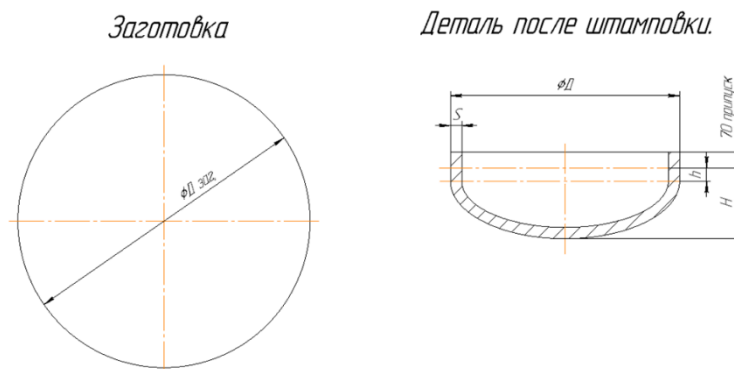


Рисунок 6 – Заготовка днища после штамповки

Нагрев заготовки перед штамповкой проходит при температурах выше критических точек A_{c3} , что приводит к разупрочнению прочностных свойств металла. Для подтверждения этого, после операции штамповка, был отобран темплет для проведения механических испытаний и оценки полученной структуры (таблицы 6, 7).

Таблица 6 – Механические свойства после штамповки [5]

Параметры	Значение			Среднее значение
Временное сопротивление разрыву, МПа	537		538	537,5
Предел текучести, МПа, $\sigma_{0,2}$	413		410	411,5
Относительное удлинение, %	32		30	31,0
Отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$	0,77		0,76	0,76
Ударная вязкость КСУ _{-60°С} , Дж/см ²	314,8	258,8	288,9	287,5
Ударная вязкость КСV _{-40°С} , Дж/см ²	263,0	285,2	263,0	270,4

Таблица 7 – Результаты оценки величины зерна по ГОСТ 5639 и твердости по ГОСТ 2999 [5]

Величина зерна, номер	Твердость, HV10								
	у поверхности			в середине толщины					
9 - 7	160	160	163	168	171	166	169	168	168

Прочностные характеристики (временное сопротивление и предел текучести) неудовлетворительные, что объясняется микроструктурой стали, которая состоит из 90% феррита и 10 % перлита. Величина зерен 7-9 – разнострустность.

4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

4.1 Термическая обработка

Для восстановления прочностных свойств днище отправляется на следующий передел – термическую обработку.

Термическая обработка включает в себя операцию закалки и высокого отпуска. Закалка и высокий отпуск (улучшение) обеспечит получение структуры сорбита отпуска и, как следствие, необходимый комплекс механических свойств, позволяющий работать в сложных напряженных условиях, повышенную прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, выше порог хладноломкости. Температура закалки определяется для доэвтектоидных сталей:

$$A_{C1} + (30...50 \text{ } ^\circ\text{C}) = 850 + 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Время выдержки 1 минута на 1 мм, толщина днища $\delta = 30$ мм, то есть время выдержки при закалке составит 30 минут. Охлаждение в воде обеспечит гарантированное охлаждение выше критической скорости закалки.

Для закалки изделий применяется газовая печь LOI Н-41, оборудованная системой равномерного распределения температуры (тепло передается от печи к нагревательному материалу посредством теплового излучения и конвекции) и закалочная ванна LOI WH-30, оборудованная шестью мешалками, для равномерного перемешивания воды и сбития паровой рубашки. Для отпуска используется газовая печь LOI WH-40, оборудованная системой равномерного распределения температуры.

Погрузка изделия в закалочную печь, осуществляется при помощи погрузчика.

Температура нагрева определяется по контактной термопаре ТХА-0292-03Т-1000, закрепленной на изделии.

Изделие нагревается до температуры $900 \text{ } ^\circ\text{C}$ и выдерживается 30 минут, далее при помощи погрузчика изделие передается из печи на стол закалочной ванны. Стол закалочной ванны опускается в воду и выдерживается до полного остывания изделия.

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

После закалки изделие грузится в отпускную печь, температура нагрева определяется по контактной термопаре, закрепленной на изделии. Изделие нагревается до 500°C и выдерживается 90 минут – из расчета 3 минуты на 1 мм (рисунок 7).

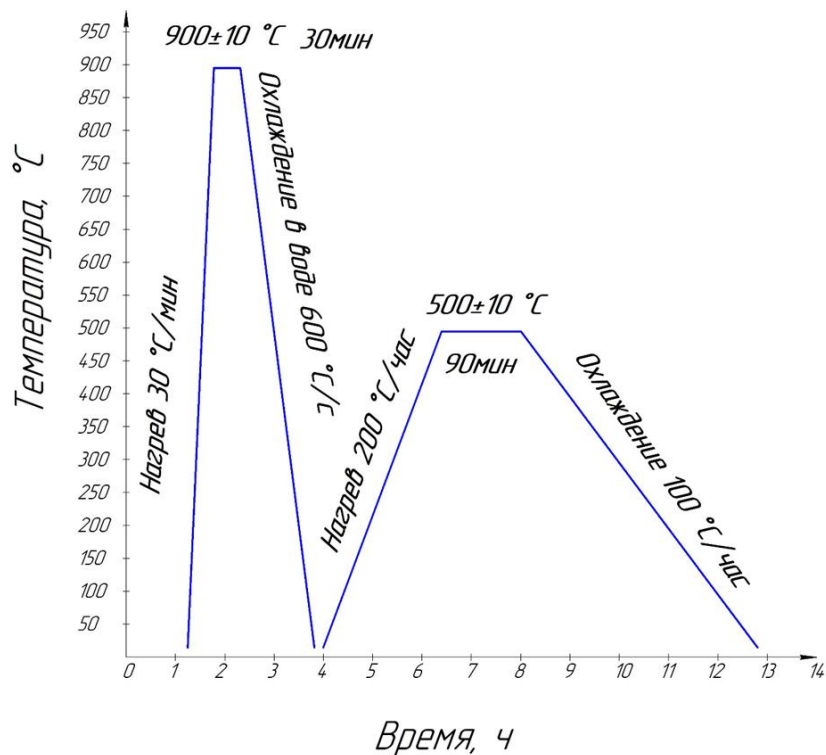


Рисунок 7 – Режим термической обработки для получения требуемых механических свойств

После проведения всех операций термообработки, от изделия был отобран темплет для проведения механических испытаний и изучения полученной структуры. Механические свойства после закалки и отпуска представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Механические свойства после закалки и высокого отпуска [8]

Параметры	Значение			Среднее значение
Временное сопротивление разрыву, Мпа	605		604	604,5
Предел текучести, Мпа, $\sigma_{0.2}$	482		480	481,0
Отношение $\sigma_{0.2}/\sigma_B$	0,80		0,79	0,79
Относительное удлинение, %	24		26	25,0
Ударная вязкость КСУ _{-60°C} , Дж/см ²	181,5	170,4	177,8	176,6
Ударная вязкость КСV _{-40°C} , Дж/см ²	107,4	103,7	92,6	101,2

Таблица 9 – Результаты оценки величины зерна по ГОСТ 5639 и твердости по ГОСТ 2999 [8]

Величина зерна, номер	Твердость, HV10		
	у поверхности	в середине толщины	у поверхности
10	201 208 210	192 190 192	201 203 204

После закалки и отпуска структура состоит из сорбита отпуска, балл зерна 10 (рисунок 8). Сорбит отпуска отличается хорошим комплексом механических свойств – высоким пределом упругости при достаточной ударной вязкости и твердости, которая также зависит от температуры отпуска, его продолжительности и химического состава. Структура сорбита отпуска состоит из феррита и мелких зернышек цементита. Частички цементита в сорбите значительно укрупнены и сфероидизированны [8].

В результате термической обработки получили свойства удовлетворяющие требования нормативной и технической документации по прочностным характеристикам, ударной вязкости, пластичности.

После проведения высокого отпуска, и остывания, изделия проходит дробеструйную камеру, для очистки поверхности от окалины. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободна от видимых пятен масла, смазки и грязи, а также от окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц.

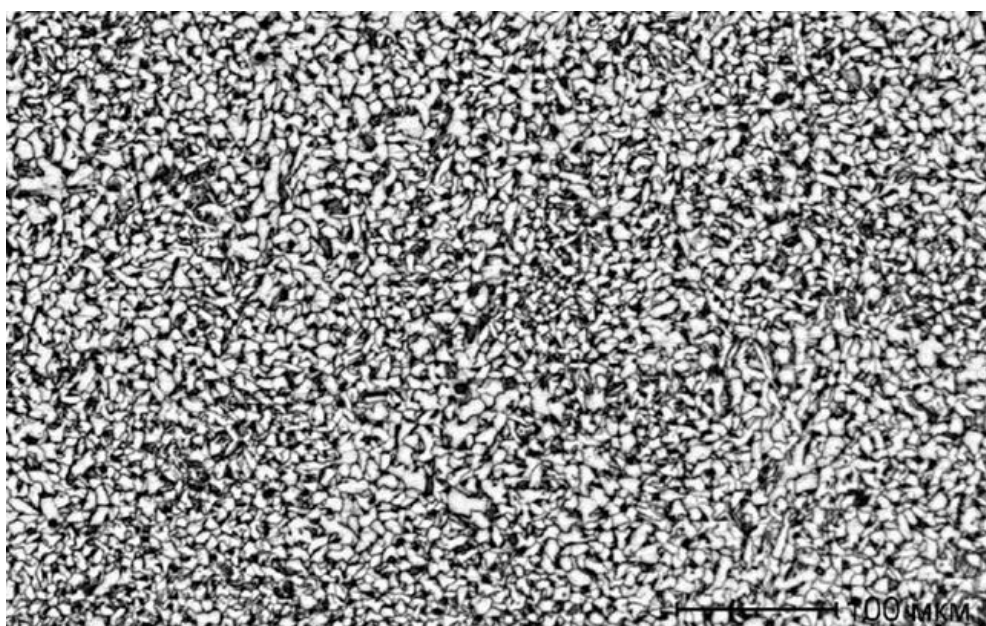


Рисунок 8 – Микроструктура основного металла (увеличение 500) [8]

На рисунке 9 представлен общий вид дробеструйной камеры.

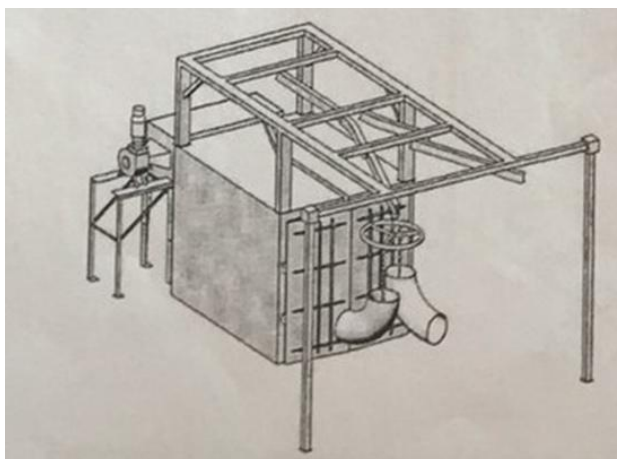


Рисунок 9 – Общий вид дробеструйной камеры

Очищенное от окалины изделие передается на специальный станок с ЧПУ SMS 3F3. На станке на изделии нарезается фаска.

Завершающим этапом производства днища, является окончательная сдача, где проверяются соответствие изделия нормативной документации, проходит визуальный измерительный контроль. В случае соответствия, готовое изделие (рисунок 10) передается заказчику.



Рисунок 10 – Эскиз готового изделия

4.2 Обоснование выбора термического оборудования

Для выполнения задач эффективной технологии термообработки производим выбор термического оборудования [9].

Для проведения закалки днищ необходимо их нагреть до 900 °С. Основное требование для нагрева заготовок – это равномерный нагрев всей заготовки по сечению и длине до температур, указанных выше за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономный расход топлива. С этими задачами хорошо справляются топливные (пламенные) газовые печи. Топливная печь имеет следующие преимущества:

- меньшие эксплуатационные и капитальные затраты при использовании топливных печей в отличие от электрических (более высокая стоимость электроэнергии по сравнению со стоимостью природного газа, дорогостоящее оборудование и материалы электрических печей);
- для нагревательных печей при высокой температуре топливные печи более надежны с большим сроком службы, чем электрические печи сопротивления.

Тип топлива – природный газ.

Для нагрева заготовок перед штамповкой, закалкой используют печь LOI H-41, оборудованную системой равномерного распределения температуры (тепло передается от печи к нагревательному материалу посредством теплового излучения и конвекции). Технические характеристики закалочной печи представлены в таблице 10, а на рисунке 11 представлен общий вид закалочной печи.

Корпус и дверь печи изготовлены из стальных профилей и покрыты листовым металлом. На листовой металл прикреплена изоляция. Дверная коробка изготовлена из массивных стальных профилей. Конструкция покрашена грунтом и краской.

Температура нагрева регулируется автоматически. Газовое оборудование выполнено в соответствии с действующими правилами безопасности. Каждая горелка оснащена устройством для электроподжига и контроля пламени. Регуляторы температуры (контроллеры) по специальной программе регулируют мощность

горелок в каждой зоне с целью обеспечения заданной температуры нагрева. Автоматическое регулирование температуры по зонам печи производится от сигнала термоэлементов. На стадии выдержки (выравнивания) автоматическую коррекцию температуры по зонам печи можно проводить так же с помощью 3 термоэлементов на обрабатываемых деталях (садке).

Таблица 10 – Технические характеристики закалочной печи [9]

Основные показатели	Значения
Полезные габариты печи:	
Ширина, мм	3800
Высота, мм	2300
Длина, мм	4200
Максимальная масса садки, т	18
Количество горелок	8
Мощность одной горелки	220кВт
Природный газ	9,27 кВт*час/Нм ³
Содержание природного газа	3х250 Нм ³ /ч
Скорость нагрева °С/час	300
Футеровка камеры печи – волокнистые модули толщиной 250 мм (1200 °С/200 кг/м ³) Футеровка пода печи – 120 мм – жаростойкий бетон, 140 мм изоляционный бетон	

После выдержки под закалку изделие перемещают погрузчиком на стол закалочной ванны LOI WH-41, оборудованную шестью мешалками, для равномерного перемешивания воды и сбития паровой рубашки (таблица 11).

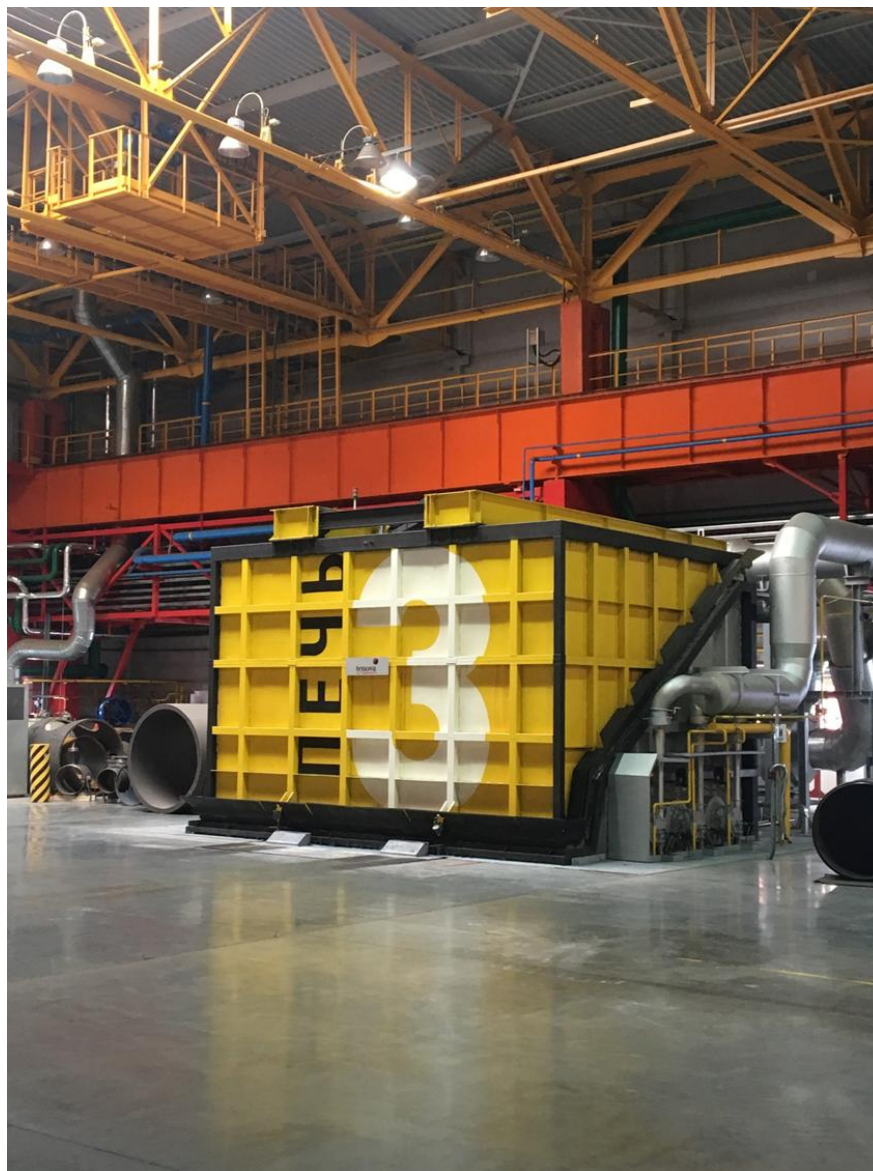


Рисунок 11 – Закалочная печь

Таблица 11 – Технические характеристики закалочной ванны [9]

Основные показатели	Значения
Габаритные размеры рабочего стола	
Ширина, мм	4200
Длина, мм	2100
Количество мешалок	6
Максимальная масса садки	15

Для отпуска используют печь LOI H-40, оборудованную системой равномерного распределения температуры (таблица 12).

Таблица 12 – Технические характеристики отпускной печи [9]

Основные показатели	Значения
Полезные габариты печи:	
Ширина, мм	3400
Высота, мм	2200
Длина, мм	7900
Максимальная масса садки, т	18
Количество горелок	8
Мощность одной горелки	220кВт
Природный газ	9,27 кВт*час/Нм ³
Содержание природного газа	2х440 Нм ³ /ч
Скорость нагрева °С/час	300
Футеровка камеры печи – волокнистые модули толщиной 250 мм (1200°С/200кг/м ³) Футеровка пода печи – 120мм – жаростойкий бетон, 140мм изоляционный бетон	

4.3 Расчетная часть

Расчет горения топлива нагревательной печи

Расчет горения топлива выполняют для определения:

- количества необходимого для горения воздуха;
- количества и состава продуктов сгорания;
- температуры горения.

Расчет горения начинается с выбора топлива. Выбираем природный газ. Природный газ обладает высокой теплотворной способностью, умеренной ценой и отсутствием золы при сгорании.

Выбираем природный газ одержание влаги $W^0 = 1,0$ об.%. Сухое топливо имеет в своем составе компоненты, указанные в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание компонентов сухого топлива, объемные % (расширенные сведения о составе природного газа за 2014 г по Челябинской области) [9]

CH_4 с	C_2H_6 с	C_3H_8 с	C_4H_{10} с	C_5H_{12} с	CO_2 с	N_2 с	Сумма
97,04	0,99	0,381	0,0516	0,06	0,127	1,29	99,94

Пересчет состава топлива

Коэффициент избытка воздуха при сжигании газа в горелке $\alpha = 1,15$.

Влагосодержание атмосферного воздуха = 10 г/кг сухого воздуха.

Определяем состав рабочего топлива:

$$C_{\text{вл.}} = C_{\text{с}} \cdot \frac{100 - H_2O}{\Sigma_{\text{комп.}}}, \% \quad (1)$$

где $\Sigma_{\text{комп.}}$ – сумма концентраций компонентов сухого топлива без учета H_2O (содержание воды);

$C_{\text{вл.}}$ – содержание влажного компонента в рабочем топливе;

$C_{\text{с.}}$ – содержание компонента в сухом топливе.

Из (1) определяем содержание влажного компонента в рабочем топливе:

$$CH_{4 \text{ вл.}} = 97,04 \cdot \frac{100-1}{99,94} = 96,13$$

$$C_2H_{6 \text{ вл.}} = 0,99 \cdot 0,9906 = 0,98 \%$$

$$C_3H_{8 \text{ вл.}} = 0,381 \cdot 0,9906 = 0,38 \%$$

$$C_4H_{10 \text{ вл.}} = 0,0516 \cdot 0,9906 = 0,05 \%$$

$$C_5H_{12 \text{ вл.}} = 0,06 \cdot 0,9906 = 0,06 \%$$

$$CO_{2 \text{ вл.}} = 0,127 \cdot 0,9906 = 0,13 \%$$

$$N_{2 \text{ вл.}} = 1,29 \cdot 0,9906 = 1,27 \%$$

$$H_2O = 1 \%$$

Влажное топливо имеет в своем составе компоненты, указанные в таблице 14.

Таблица 14 – Содержание компонентов влажного рабочего топлива, объемные, % [9]

CH ₄ вл.	C ₂ H ₆ вл.	C ₃ H ₈ вл.	C ₄ H ₁₀ вл.	C ₅ H ₁₂ вл.	CO ₂ вл.	N ₂ вл.	H ₂ O	Сумма
96,13	0,98	0,38	0,05	0,06	0,13	1,27	1	100,00

Теплота сгорания топлива.

Теплота сгорания топлива – это количество тепла, выделяемое при полном сгорании всех горючих составляющих топлива, отнесенное к 1 нм³ (мм³) газообразного топлива при нормальных условиях.

Определяем теплоту сгорания природного газа:

$$Q_{н.р.} = 358,2 \cdot CH_{4\text{ вл.}} + 637,5 \cdot C_2H_{6\text{ вл.}} + 912,5 \cdot C_3H_8 + 1186,5 \cdot C_4H_{10\text{ вл.}} + 1460,8 \cdot C_5H_{12\text{ вл.}}, \text{ кДж/нм}^3 \quad (2)$$

$$\text{Из (2) } Q_{н.р.} = 358,2 \cdot 96,13 + 637,5 \cdot 0,98 + 912,5 \cdot 0,38 + 1186,5 \cdot 0,05 + 1460,8 \cdot 0,05 = 35\,552,24 \text{ кДж/нм}^3.$$

Для сравнения эффективности разных видов топлива и определения удельного расхода топлива на термообработку 1 кг материала пользуются единицами условного топлива (каменного угля), теплота сгорания которого принята 29 300 кДж/кг. Перевод любого топлива в единицы условного топлива производят с помощью теплового эквивалента.

Определяем тепловой эквивалент:

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{н.р.}}{29300}, \text{ кг усл. топлива / кг газа} \quad (3)$$

$$\text{Из (3) } \mathcal{E} = \frac{35552,24}{29300} = 1,23 \text{ кг усл. топлива / кг газа}$$

Расход воздуха на горение

В расчетах принимают следующий состав сухого воздуха: 79% азот, 21 % кислород.

Теоретически необходимый для горения расход сухого воздуха:

$$L_0 = 0,0476 \cdot (2 \cdot \text{CH}_{4 \text{ вл.}} + 3,5 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 \text{ вл.} + 5 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 6,5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10 \text{ вл.}} + 8 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12 \text{ вл.}}),$$

$$\text{нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа} \quad (4)$$

Из (4) $L_0 = 0,0476 \cdot (2 \cdot 96,13 + 3,5 \cdot 0,98 + 5 \cdot 0,38 + 6,5 \cdot 0,05 + 8 \cdot 0,06 = 9,42$
 $\text{нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа}$

Достаточная полнота смешивания потоков топлива и воздуха обеспечиваются при некотором избытке воздуха.

Действительный расход сухого воздуха:

$$L_d = \alpha \cdot L_0, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа} \quad (5)$$

$$\alpha = 1,15.$$

Из (5) $L_d = 1,15 \cdot 9,42 = 10,833 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$

Пары воды, содержащиеся в атмосферном воздухе, незначительно увеличивают его расход по сравнению с сухим воздухом.

Действительное количество атмосферного воздуха:

$$L_{d=} = (1 + 0,0016 \cdot d) \cdot L_d, \text{ нм}^3 \text{ влажного воздуха} / \text{нм}^3 \text{ газа}, \quad (6)$$

где d – влагосодержание, можно принять $10 \text{ г} / \text{кг}$ сухого воздуха при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 60% .

Из (6) $L_{d=} = (1 + 0,0016 \cdot 10) \cdot 10,833 = 11 \text{ нм}^3 \text{ влажного воздуха} / \text{нм}^3 \text{ газа.}$

Объем продуктов горения топлива

При полном сгорании любого топлива образуются следующие газообразные продукты (дымовые газы): $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}, \text{N}_2, \text{O}_2$.

Обычно горение происходит при избытке воздуха, поэтому в природном газе присутствует O_2 , содержание которого зависит от коэффициента избытка воздуха.

Количество продуктов горения при $\alpha = 1,15$.

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 (\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + 2 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 4 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 5 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12}), \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \quad (7)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (2 \cdot \text{CH}_4 + 3 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 4 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 5 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 6 \cdot 0,23 + 0,99 + 0,16 \cdot 10 \cdot L_d), \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \quad (8)$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot L_d + 0,01 \cdot \text{N}_2, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \quad (9)$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (k-1) \cdot L_0, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \quad (10)$$

Из (7) $V_{CO_2} = 0,01 \cdot (0,13 + 96,13 + 2 \cdot 0,98 + 3 \cdot 0,38 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,06) = 0,9986 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$;

Из (8) $V_{H_2O} = 0,01 \cdot (2 \cdot 96,13 + 3 \cdot 0,98 + 4 \cdot 0,38 + 5 \cdot 0,05 + 6 \cdot 0,06 + 0,99 + 0,16 \cdot 10 \cdot 11) = 2,1948 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$;

Из (9) $V_{N_2} = 0,79 \cdot 11 + 0,01 \cdot 1,27 = 8,69 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$;

Из (10) $V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,15 - 1) \cdot 9,42 = 0,297 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$.

Общий объем продуктов горения топлива рассчитывают:

$$V_{\Sigma} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \quad (11)$$

Из (11) $V_{\Sigma} = 0,9986 + 2,1948 + 8,69 + 0,297 = 12,18 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$.

Процентный состав продуктов горения определяется:

$$\%_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{\Sigma}} \cdot 100\% ,\% \quad (12)$$

$$\%_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Sigma}} \cdot 100\% ,\% \quad (13)$$

$$\%_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{\Sigma}} \cdot 100\% ,\% \quad (14)$$

$$\%_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{\Sigma}} \cdot 100\% ,\% \quad (15)$$

Из (12) $\%_{CO_2} = \frac{0,9986}{12,18} \cdot 100\% = 8,2\%$;

Из (13) $\%_{H_2O} = \frac{2,1948}{12,18} \cdot 100\% = 18,02\%$;

Из (14) $\%_{N_2} = \frac{8,69}{12,18} \cdot 100\% = 71,35\%$;

Из (15) $\%_{O_2} = \frac{0,297}{12,18} \cdot 100\% = 2,44\%$.

Материальный баланс горения топлива

Материальный баланс горения топлива составляется на 100 нм^3 природного газа при коэффициенте избытка воздуха при сжигании газа в горелке частичного смешивания $\alpha = 1,15$ указан в таблице 15.

Таблица 15 – Материальный баланс горения природного газа [9]

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

Приход	кг	Расход	кг
Природный газ		Продукты горения	
$\text{CH}_4 = \text{CH}_{4 \text{ вл}} \cdot 0,717 = 96,13 \cdot 0,717$	68,93	$\text{CO}_2 = V_{\text{CO}_2} \cdot 1,977 = 0,9986 \cdot 1,977$	298
$\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_{2\text{H}_6 \text{ вл}} \cdot 1,356 = 0,98 \cdot 1,356$	1,33	$\text{H}_2\text{O} = V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,804 = 2,1948 \cdot 0,804$	176,46
$\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C}_{3\text{H}_8 \text{ вл}} \cdot 2,020 = 0,38 \cdot 2,020$	0,77	$\text{N}_2 = V_{\text{N}_2} \cdot 1,251 = 8,69 \cdot 1,251$	1087,12
$\text{C}_4\text{H}_{10} = \text{C}_{4\text{H}_{10 \text{ вл}}} \cdot 2,840 = 0,05 \cdot 2,840$	0,142	$\text{O}_2 = V_{\text{O}_2} \cdot 1,429 = 0,297 \cdot 1,429$	42,44
$\text{C}_5\text{H}_{12 \text{ вл}} = \text{C}_{5\text{H}_{12 \text{ вл}}} \cdot 0,06 = 0,06 \cdot 3,218$	0,19		
$\text{CO}_{2 \text{ вл}} = \text{CO}_{2 \text{ вл}} \cdot 3,218 = 0,13 \cdot 1,977$	0,26		
$\text{N}_2 = \text{N}_{2 \text{ вл}} \cdot 1,251 = 1,27 \cdot 1,251$	1,59	Невязка	- 0,9
$\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O} \cdot 0,804 = 1,00 \cdot 0,804$	0,80	88,07	
Воздух			
$\text{O}_2 = L_{\text{д}} \cdot 0,21 \cdot 100 \cdot 1,429 = 11 \cdot 0,21 \cdot 100 \cdot 1,429$	340,1		
$\text{N}_2 = L_{\text{д}} \cdot 0,79 \cdot 100 \cdot 1,251 = 11 \cdot 0,79 \cdot 100 \cdot 1,251$	1112,12		
$\text{H}_2\text{O} = L_{\text{д}} \cdot 0,0016 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 0,804 = 11 \cdot 0,0016 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 0,804$	63,1		
Итого	1604,02		1604,02

Невязка баланса составляет: $\frac{0,9 \cdot 100}{1604,02} = 0,056 \%$.

Температура горения

Для определения теоретической температуры горения природного газа необходимо найти общее теплосодержание продуктов горения:

$$i_{\text{общ}} = \frac{Q_{\text{н.р}}}{V_{\Sigma}}, \text{ кДж/нм}^3 \quad (16)$$

Из (16) $i_{\text{общ}} = \frac{35\,552,24}{14,007} = 2\,538,18 \text{ кДж/нм}^3$.

По i - t диаграмме на рисунке 12 находим теоретическую температуру горения при $\alpha = 1,15$:

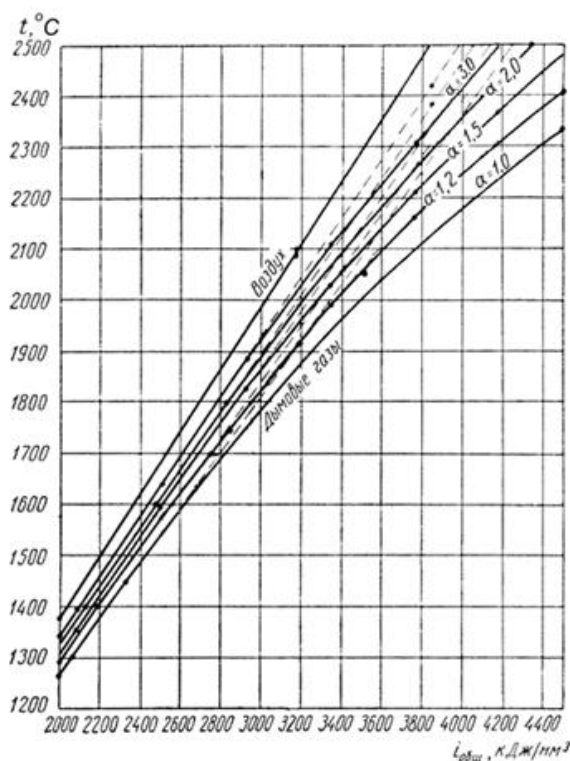


Рисунок 12 – Диаграмма i-t

$$t_{\text{теор}} = 1600 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Находим расчетное теплосодержание продуктов горения в учетом пиromетрического коэффициента печи, который примем $g=0,78$:

$$i_{\text{общ,расч}} = i_{\text{общ}} \cdot g, \text{ кДж/нм}^3 \quad (17)$$

$$\text{Из (17) } i_{\text{общ,расч}} = 2538,18 \cdot 0,78 = 1979,78 \text{ кДж/нм}^3.$$

По i-t диаграмме находим действительную температуру горения природного газа при $\alpha = 1,15$:

$$T_{\text{дейст.}} = 1300 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Этой температуры достаточно для нагрева заготовок. Заданная температура нагрева = $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчет времени нагрева металла

Для расчета нагрева заготовок необходимо определить максимальное количество одновременно термообрабатываемых изделий.

Габаритные размеры одной заготовки составляют: $d = 1420$ мм, $\delta = 30$ мм,
Размеры рабочего пространства: $B = 3800$ мм, $L = 4200$ мм, $H = 2300$ мм.

На подине располагается одно изделие.

Расчет времени нагрева металла

Температура металла конечная $t_m = 900$ °С.

Температура печи $t_{п} = 920$ °С.

Методы расчета времени нагрева изделия зависят от того, к какой категории тел оно относится – к теплотехнически «тонким» или «массивным» [10]

Определение массивности нагреваемых изделий

Массивность тел определяется безразмерной величиной – критерием Био.

$$Bi = \frac{\alpha_{\Sigma} \cdot S}{\lambda}, \quad (18)$$

где α_{Σ} – суммарный коэффициент теплоотдачи, средний в интервале температур нагрева, Вт/ м² К;

λ – коэффициент теплопроводности нагреваемого тела, средний в интервале температур нагрева, Вт/ м К;

Коэффициент теплопроводности средний в интервале температур от 100°С до 800°С рассчитывается:

$$\lambda = \frac{40 + 36 + 33 + 29 + 27}{5} = 33 \text{ Вт/ м К};$$

S – расчетная прогреваемая толщина, м.

В топливных печах дымовые газы, заполняющие рабочее пространство, передают тепло лучеиспусканием и конвекцией нагреваемым изделиям и станкам печи. Последние излучают тепло на изделия. Все эти процессы учитываются при определении коэффициента теплоотдачи.

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{л} + \alpha_{к}, \quad (19)$$

где $\alpha_{л}$ – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/ м² К;

$\alpha_{к} = 15$ Вт/ м² К – коэффициент теплоотдачи конвекцией.

$$\alpha_{\text{л}} = c_{\text{пр}} \cdot \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{м}}}{100}\right)^4\right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{м}}}, \quad (20)$$

где $c_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/м²К;

$T_{\text{м}}$ – средняя за время нагрева температура изделия, К.

Средняя температура нагреваемого металла может быть определена по формуле:

$$T_{\text{м}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{мн}}}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_{\text{мк}}}{100}\right)^4 \right]} \cdot 100 \quad (21)$$

$T_{\text{п}}$ – конечная температура печи, К

$$c_{\text{пр}} = \frac{c_0}{\frac{1}{\epsilon_{\text{м}}} + \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{п}}} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{п}}} - 1 \right)}, \quad (22)$$

где $c_0 = 5,7$ Вт/ м² К⁴ - коэффициент излучения абсолютно черного тела;

$\epsilon_{\text{м}} = 0,8$; $\epsilon_{\text{п}} = 0,85$ – степень черноты нагреваемого металла и кладки печи;

$F_{\text{м}}$, $F_{\text{п}}$ – тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла и нагревательной камеры печи, м².

$$F_{\text{п}} = 2 \cdot (H \cdot L + H \cdot B + L \cdot B), \quad (23)$$

где L, B, H - размеры печного пространства:

длина L = 4,2 м;

ширина B = 3,8 м;

высота H = 2,3 м.

$$F_{\text{м}} = 2\pi R^2, \quad (24)$$

где R – радиус заготовки, м (R = 0,71м);

Из (24) $F_{\text{м}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,71^2 = 3,17$ м².

Из (23) $F_{\text{п}} = 2 \cdot (2,3 \cdot 4,2 + 2,3 \cdot 3,8 + 4,2 \cdot 3,8) = 68,72$ м².

$$\text{Из (22)} \quad c_{np} = \frac{5,67}{\frac{1}{0,8} + \frac{3,17}{68,72} \cdot \left(\frac{1}{0,85} - 1\right)} = 4,5 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Из (21)

$$T_{\text{ср}} = \sqrt[4]{\frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{293}{100}\right)^4 + \left(\frac{1173}{100}\right)^4 \right]} \cdot 100 = 987,3$$

$$\text{Из (20)} \quad \alpha_{\text{л}} = 4,5 \frac{\left[\left(\frac{1173}{100}\right)^4 - \left(\frac{987,3}{100}\right)^4 \right]}{1173 - 987,3} = \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\text{Из (19)} \quad \alpha_{\Sigma} = 145,6 + 10 = 155,6 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\text{Из (18)} \quad \text{Bi} = \frac{155,6 \cdot 0,0375}{36,5} = 0,16$$

Так как $\text{Bi} < 0,25$ тело теплотехнически «тонкое».

Определение времени нагрева изделия

Процесс нагрева условно разбивают на два этапа. Первый этап – от начала нагрева до достижения в камере печи заданной температуры. Этот этап характеризуется тем, что вследствие низкой температуры садки, она поглощает всю выделяющуюся в камере печи полезную мощность и нагрев изделий осуществляется при постоянном тепловом потоке.

$$q_n = c_{np} \left[\left(\frac{T_n}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_m}{100}\right)^4 \right], \quad (25)$$

где q_n – тепловой поток, Вт/м²;

c_{np} – приведенный коэффициент излучения, Вт/м² К;

T_m – средняя за время нагрева температура изделия, К;

T_n – конечная температура печи, К

$$\tau_1 = \frac{G \cdot c}{q_n \cdot F_m} (t_m^2 - t_1^1), \quad (26)$$

где τ_1 - время нагрева изделий на первом этапе, с

G – масса нагреваемых изделий, кг;

c – средняя удельная теплоемкость, Дж/кг·К;

q_n - тепловой поток, Вт/ м²;

F_M – тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла (всей загрузки), м²;

t_M^2 – температура загрузки в конце первого периода, °С;

t_M^1 – температура загрузки в начале первого периода, °С.

Средняя удельная теплоемкость средняя в интервале температур от 100°С до 800°С рассчитывается:

$$c = \frac{486 + 502 + 519 + 536 + 586 + 645 + 695 + 687}{8} = 583 \text{ Вт/ м}^2 \text{ К};$$

Конец первого и начало второго этапа характеризуется достижением заданного значения температуры рабочего пространства. Температура теплотехнически тонких изделий в этот момент времени в соответствии с формулой составляет:

$$t_M^2 = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{T_n}{100}\right)^4 - \frac{q_n}{C_{np}}} - 273, \quad (27)$$

где t_M^2 – температура загрузки в конце первого периода нагрева, °С;

t_{mk} – заданная температура нагрева, °С.

По достижении печью заданного значения температуры начинает работать терморегулятор, поддерживающий ее неизменной, а потребляемая мощность печи при этом снижается, то есть во втором этапе нагрева, нагрев изделий будет осуществляться при постоянной температуре

$$\tau_2 = \frac{G \cdot c}{\alpha_{\Sigma} \cdot F_M} \cdot \ln\left(\frac{t_n - t_M^2}{t_n - t_M^3}\right), \quad (28)$$

где G – масса нагреваемых изделий, кг;

c – удельная теплоемкость при температуре выдержки, Дж/кг·К ;

α_{Σ} – суммарный коэффициент теплоотдачи во втором периоде нагрева,

Вт/ м² К;

F_м – тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла (всей загрузки), м²;

t_п – печи во втором периоде нагрева, °С;

t_м², t_м³ – температуры нагреваемых изделий соответственно в начале и в конце второго периода нагрева.

c = 695 Дж/кг·К при температуре 800 °С [11]:

Суммарное время нагрева складывается из времени нагрева первого и второго этапа.

$$\tau_{\Sigma} = \tau_1 + \tau_2, \quad (29)$$

где τ_{Σ} – суммарное время нагрева, с.

$$\text{Из (25)} \quad q_n = 4,5 \left[\left(\frac{1193}{100} \right)^4 - \left(\frac{987}{100} \right)^4 \right] = 48463,25 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$$\text{Из (27)} \quad t_m^2 = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{1193}{100} \right)^4 - \frac{48463,25}{4,5}} - 273 = 714 \text{ } ^\circ\text{С},$$

$$\text{Из (26)} \quad \tau_1 = \frac{371,8 \cdot 583}{48463,25 \cdot 3,2} (714 - 20) = 981 \text{ с}$$

$$\text{Из (28)} \quad \tau_2 = \frac{371,8 \cdot 695}{249 \cdot 3,2} \cdot \ln \left(\frac{920 - 714}{920 - 900} \right) = 765 \text{ с}$$

$$\text{Из (29)} \quad \tau_{\Sigma} = 981 + 765 = 1746 \text{ с} = 29,1 \text{ мин}$$

После нагрева заготовку выдерживают в течении 30 мин.

Общее время – сумма времени нагрева и времени выдержки – 60 мин.

Тепловой расчет печи

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, который представляет собой уравнение, связывающее приход и расход тепла с целью определения расхода топлива.

Приходные статьи теплового баланса

1 Тепло, получаемое при сжигании топлива:

$$Q_T = Q_H^P \cdot B, \text{ Вт} \quad (30)$$

где Q_H^P – низшая (рабочая) теплота сгорания топлива, кДж/кг;

B – расход топлива, м³/с.

Из (31) $Q_T = 35\,552,24 \cdot B$.

2 Физическое тепло, вносимое подогретым воздухом:

$$Q_B = L_d \cdot B \cdot c_B \cdot t_B, \text{ Вт}, \quad (31)$$

где L_d – действительный расход воздуха;

B – расход топлива, м³/с.

c_B – средняя теплоемкость воздуха;

t_B – температура подогретого воздуха.

Из (31) $Q_B = 11 \cdot 480 \cdot 1,38 \cdot B = 7\,286,4 \cdot B$.

Расходные статьи теплового баланса

1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла для печей:

$$Q_M = \frac{G}{\tau_H} \cdot c_M \cdot (t_{MK} - t_{MH}) \quad (32)$$

где G – масса нагреваемых изделий, кг;

τ_H – время нагрева металла, с;

c_M – средняя теплоемкость металла в интервале температур $t_{MH} - t_{MK}$, кДж/кг·К;

t_{MH} – температура на металле начальная, К;

t_{MK} – температура на металле конечная, К.

Из (32) $Q_M = \frac{371,8}{3546} \cdot 583 \cdot (1173 - 293) = 53792 \text{ Вт}$.

2 Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи:

$$Q = 2 \cdot Q_{\text{бстен}} + 2 \cdot Q_{\text{тстен}} + Q_{\text{свода}} + Q_{\text{нода}}, \quad (33)$$

где $Q_{\text{бстен}}$ – потери тепла через боковые стенки, Вт;

$Q_{\text{тстен}}$ – потери тепла через торцевые стенки, Вт;

$Q_{\text{свода}}$ – потери тепла через свод печи, Вт;

$Q_{\text{пода}}$ – потери тепла через под печи, Вт.

При стационарном теплообмене потери тепла через многослойную стенку определяются по формуле:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{о}}}{\frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_{\text{в}} \cdot F_{\text{нар}}}}, \text{ Вт} \quad (34)$$

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

$t_{\text{о}}$ – температура окружающего пространства, °С;

$S_1, S_2 \dots$ - толщина каждого слоя кладки, м;

$F_1, F_2 \dots$ - средняя площадь каждого слоя кладки, м²;

$F_{\text{нар}}$ – наружная поверхность кладки, м²;

$\lambda_{1, 2 \dots}$ - коэффициент теплопроводности каждого слоя кладки, Вт/ м К.

$$F_1 = \sqrt{(F_{\text{вн}} \cdot F_{1,2})}, \text{ м}^2 \quad (35)$$

где $F_{\text{вн}}$ – поверхность внутреннего слоя;

$F_{1,2}$ – поверхность между слоями.

$$F_2 = \sqrt{(F_{\text{нар}} \cdot F_{1,2})}, \text{ м}^2 \quad (36)$$

где $F_{\text{нар}}$ – поверхность наружного слоя.

Теплопроводность волокнистых модулей:

$$\lambda_{\text{вм}} = 0,058 - 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot t, \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \quad (37)$$

Теплопроводность жаростойкого бетона:

$$\lambda_{\text{жб}} = 0,442 - 0,535 \cdot 10^{-3} \cdot t, \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \quad (38)$$

Теплопроводность изоляционного бетона:

$$\lambda_{\text{иб}} = 0,06 - 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot t, \text{ Вт/м} \cdot \text{К} \quad (39)$$

$$t_1 = \frac{t_{\text{п}} + t_{1,2}}{2}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (40)$$

$$t_2 = \frac{t_{\text{нар}} + t_{1,2}}{2}, ^\circ\text{C} \quad (41)$$

где $t_{\text{п}}$ – температура рабочего пространства печи, $^\circ\text{C}$;

$t_{1,2}$ - температуру между слоями кладки, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{нар}}$ - температура наружной поверхности печи, $^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_n - t_o}{R_1 + R_2 + R_{\text{нар}}}, \text{Вт} \quad (42)$$

где R_1, R_2 – тепловые сопротивления слоев кладки;

R_3 – сопротивление передачи тепла окружающему воздуху.

$$R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1}, \text{К/Вт} \quad (43)$$

$$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2}, \text{К/Вт} \quad (44)$$

$$R_{\text{нар}} = \frac{1}{\lambda_{\text{в}} \cdot F_{\text{нар}}}, \text{К/Вт} \quad (45)$$

На рисунке 13 представлен эскиз кладки печи.

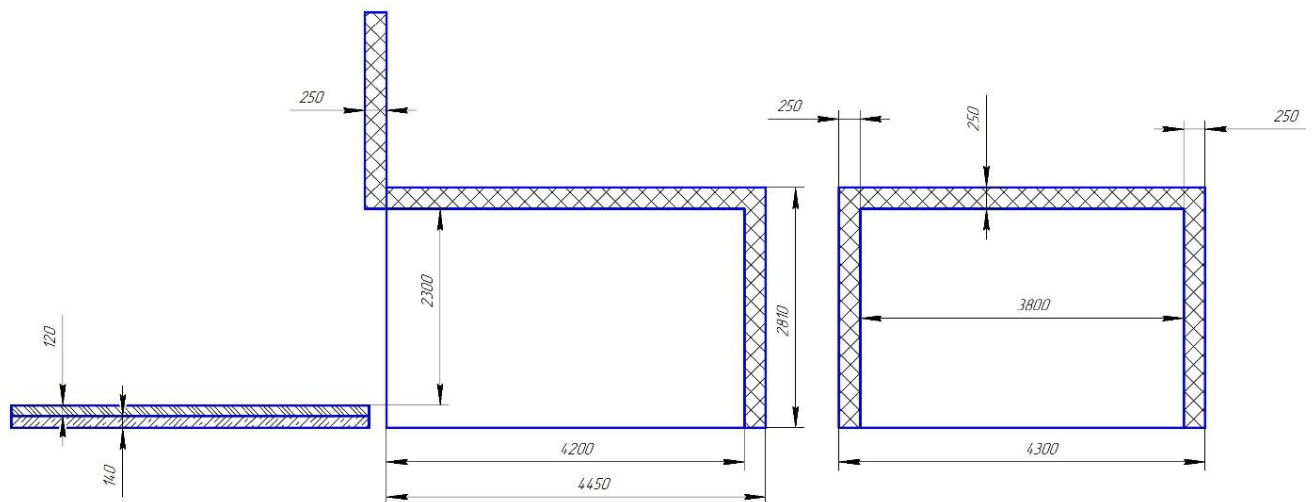


Рисунок 13 – Эскиз печи

Размеры для расчета:

1. Футеровка камеры печи – волокнистые модули толщиной 250 мм (1200°C , 200кг/м^3)

2. Футеровка пода печи: жаростойкий бетон – 120 мм; изоляционный бетон – 140 мм.

3. А) Потери тепла через боковую стенку печи:

Боковая стенка состоит из волокнистого модуля – 250мм

$$F_{\text{вн}} = 4,2 \cdot 2,3 = 9,66 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = 4,7 \cdot 2,8 = 13,16 \text{ м}^2$$

Принимаем $t_{\text{п}} = 920 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{нар}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\text{Из (40) } t_1 = \frac{920 + 40}{2} = 480 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Из (37) } \lambda_{\text{вм}} = 0,058 + 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot 480 = 0,1473 \text{ Вт/ м К}$$

$$\lambda_{\text{в}} = 18 \text{ Вт/ м К}$$

$$\text{Из (43) } R_1 = \frac{0,25}{0,1473 \cdot 9,66} = 0,1572 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (45) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 13,16} = 0,0042 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (42) } Q_{\text{ст}} = \frac{920 - 20}{0,1572 + 0,0042} = 5 \text{ 815 Вт}$$

Проверочный расчет:

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{б.ст}} \cdot R_1 = 920 - 5 \text{ 815} \cdot 0,1572 = 49 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Так как полученные в результате проверки температуры не отличаются от выбранных более чем на 10 градусов, то расчет произведен правильно.

$$Q_{\text{б.ст}} = 5 \text{ 815 Вт}$$

Б) Потери тепла через торцевую стенку печи:

Торцевая стенка состоит из волокнистого модуля – 250мм

$$F_{\text{вн}} = 3,8 \cdot 2,3 = 8,74 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = 4,3 \cdot 2,8 = 12,04 \text{ м}^2$$

Принимаем $t_{п} = 920 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{нар} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{Из (40) } t_1 = \frac{920 + 40}{2} = 480 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Из (37) } \lambda_{\text{вм}} = 0,058 + 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot 480 = 0,1473 \text{ Вт/ м К}$$

$$\lambda_{\text{в}} = 18 \text{ Вт/ м К}$$

$$\text{Из (43) } R_1 = \frac{0,25}{0,1473 \cdot 8,74} = 0,1655 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (45) } R_{нар} = \frac{1}{18 \cdot 12,04} = 0,0046 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (42) } Q_{см} = \frac{920 - 20}{0,1655 + 0,0046} = 5 \text{ 292 Вт}$$

Проверочный расчет:

$$t_{нар} = t_{п} - Q_{т.ст} \cdot R_1 = 920 - 5 \text{ 292} \cdot 0,1655 = 44,4 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Так как полученные в результате проверки температуры не отличаются от выбранных более чем на 10 градусов, то расчет произведен правильно.

$$Q_{т.ст} = 5 \text{ 292 Вт}$$

В) Потери тепла через свод печи:

Свод состоит из волокнистого модуля – 250мм

$$F_{\text{вн}} = 4,2 \cdot 3,8 = 15,96 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = 4,7 \cdot 4,3 = 20,21 \text{ м}^2$$

Принимаем $t_{п} = 920 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{нар} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\text{Из (40) } t_1 = \frac{920 + 40}{2} = 480 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Из (37) } \lambda_{\text{вм}} = 0,058 + 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot 480 = 0,1473 \text{ Вт/ м К}$$

$$\lambda_{\text{в}} = 18 \text{ Вт/ м К}$$

$$\text{Из (43) } R_1 = \frac{0,25}{0,1473 \cdot 15,96} = 0,0945 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (45) } R_{нар} = \frac{1}{18 \cdot 20,21} = 0,0027 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (42) } Q_{св} = \frac{920 - 20}{0,0945 + 0,0027} = 9 \text{ 253 Вт}$$

Проверочный расчет:

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{св}} \cdot R_1 = 920 - 9\,253 \cdot 0,0945 = 45,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Так как полученные в результате проверки температуры не отличаются от выбранных более чем на 10 градусов, то расчет произведен правильно.

$$Q_{\text{св}} = 9\,253 \text{ Вт.}$$

Г) Потери тепла через под печи:

Футеровка пода печи: жаростойкий бетон – 120 мм; изоляционный бетон – 140 мм.

$$F_{\text{вн}} = F_{1,2} = F_{\text{нар}} = 3,8 \cdot 4,2 = 15,96 \text{ м}^2$$

Принимаем $t_{\text{п}} = 920 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{1,2} = 820 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{\text{нар}} = 1080 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$\text{Из (40) } t_1 = \frac{920 + 820}{2} = 870 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Из (41) } t_2 = \frac{820 + 80}{2} = 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Из (38) } \lambda_{\text{жб}} = 0,442 - 0,535 \cdot 10^{-3} \cdot 870 = 0,9, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

Теплопроводность изоляционного бетона:

$$\text{из (39) } \lambda_{\text{иб}} = 0,06 - 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot 450 = 0,1437, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$$

$$\lambda_{\text{в}} = 18 \text{ Вт/ м К}$$

$$\text{Из (43) } R_1 = \frac{0,12}{0,9 \cdot 15,96} = 0,0082 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (44) } R_2 = \frac{0,14}{0,1437 \cdot 15,96} = 0,061 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (45) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 15,96} = 0,005 \text{ К/Вт}$$

$$\text{Из (42) } Q_{\text{под}} = \frac{920 - 20}{0,0082 + 0,061 + 0,005} = 12\,072 \text{ Вт}$$

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{пода}} \cdot R_1 = 920 - 12\,072 \cdot 0,0082 = 819,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{пода}} \cdot (R_1 + R_2) = 920 - 12\,072 \cdot (0,0082 + 0,061) = 83 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так как полученные в результате проверки температуры не отличаются от выбранных более чем на 10 градусов, то расчет произведен правильно.

$$Q_{\text{пода}} = 12\,072 \text{ Вт.}$$

$$\text{Из (33) } Q_{\text{кл}} = 2 \cdot 5815 + 2 \cdot 5291 + 9253 + 12072 = 43\,537 \text{ Вт}$$

3 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:

					22.03.02.2019.423.000 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

$$Q_{\text{луч}} = c_0 \cdot \varepsilon_m \cdot \varphi \cdot \Delta\tau \cdot F_o \cdot \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт} \quad (46)$$

где $c_0 = 5,7$ - коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/ м² К⁴;

$\varepsilon_m = 0,8$ – степень черноты нагреваемого металла;

$\varphi = 0,75$ – коэффициент дафрагмирования;

F_o – площадь загрузочного окна, м²;

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

T_n – температура печи, К;

$T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, К.

$$F_o = b \cdot h, \quad (47)$$

где b – ширина окна;

h – высота окна.

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{\text{отк}}}{\tau_{\text{общ}}}, \quad (48)$$

где $\tau_{\text{отк}}$ – время, когда открыто окно, с;

$\tau_{\text{общ}}$ – общее время нагрева, с.

Из (47) $F_{\text{отв}} = 0,5 \cdot 3,8 = 1,9 \text{ м}^2$

Из (45) $Q_{\text{луч}} = 5,7 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1,9 \cdot \left[\left(\frac{1193}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 6\,213 \text{ Вт}$.

4 Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями (охлаждение цапф роликов, фланцы роликов):

$$Q_{\text{к.з.}} = 0,5 \cdot Q_{\text{кл}}, \text{ Вт} \quad (49)$$

Из (48) $Q_{\text{к.з.}} = 0,5 \cdot 43\,537 = 21\,768,5 \text{ Вт}$.

Составим уравнение теплового баланса:

$$35\,552,24 \cdot B + 7\,286,4 \cdot B = 53\,792 + 43\,537 + 6\,213 + 21\,768,5;$$

$$42\,838,64 \cdot B = 125\,310,5;$$

Расход топлива $B = 2,925 \text{ м}^3 / \text{с}$;

Расход топлива максимальный $V_{\text{макс}} = k V = 1,5 \cdot 2,925 = 4,4 \text{ м}^3 / \text{с}$, где $k=1,2 \dots 2,0$ – коэффициент для печи периодического действия

Полученные данные сведем в таблицу 16.

Коэффициент полезного действия печи:

$$\mu = \frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{расх}}} \cdot 100\% \quad (50)$$

Из (50) $\mu = \frac{53792}{125310,5} \cdot 100\% = 43\%$.

Таблица 16 – Тепловой баланс печи [11]

Приходные статьи	Вт	%	Расходные статьи	Вт	%
Тепло, получаемое при сжигании топлива	103996,5	83	1. Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	53792	43
Физическое тепло, вносимое подогретым воздухом	21 313,99	17	2. Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи	43 537	35
			3. Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:	6 213	5
			4. Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями	21 768,5	17
Итого	125 310,5	100		125 310,5	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе представлен процесс изготовления штампованного днища диаметром 1420 мм с толщиной стенки 30 мм.

Днище изготавливается из листового проката, материал изготовления листового проката сталь 10Г2ФБЮ.

Для достижения поставленной цели выбран режим термообработки заготовок, а также выбрано и рассчитано необходимое оборудование.

					<i>22.03.02.2019.423.000 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		52

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лейкин, И.М. Производство и свойства низколегированных сталей / И.М. Лейкин. – Металлургия 1972 – 256 с.
2. Попов, А.А. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А.А. Попов. – «Металлургия» 1965 г. – 493 с.
3. Мельников, А.А. Материаловедение. Конспект лекций / А.А. Мельников. – Самара, Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012 – 83 с.
4. Домашев, А.Д.: Конструирование и расчет химических аппаратов / А.Д. Домашев. – Машгиз, 1961, с. 601 – 610.
5. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов и др. – Раздел ГРНТИ: Высшая школа, 2001 г. – 604 с.
6. Евстигнеев, А. И. Специальные технологии литейного производства: учебное пособие / А. И. Евстигнеев, Е. А. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2012. – 436 с.
7. Калачевский, Б.А. Современные методы формообразования и обработки заготовок деталей машин / Б.А. Калачевский, Б. И. Калмин, Б. Г. Колмаков, М. С. Корытов, – Омск: Издательство СибАДИ, 2003.
8. Болховитинов, Н.Ф. Металловедение и термическая обработка / Н.Ф. Болховитинов. – Машгиз, 1952. – 427 с.
9. Кривандин, В.А. Металлургические печи / В.А. Кривандин, Н.Г. Молчанов, С.Л. Соломенцев. – 2-е изд., переработанное. М.: Metallurgy, 1969 – 168 с.
10. Корягин, Ю.Д. Тепловые и электрические расчеты термических печей: Учебное пособие / Ю.Д. Корягин. – 2-е изд. – Челябинск: Изд.ЮуРГУ, 2005. – 178 с.
11. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.