

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.

«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ БУРИЛЬНЫХ УСТАНОВОК».

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
ЮУРГУ–22.03.02.2017.447.ПЗ ВКР

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

Автор проекта
студент группы П-447
_____ (Мирошник Л.Г.)
_____ 2017г.

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

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Мирошник Л. Г. Технологический процесс изготовления литых деталей для бурильных установок. – Челябинск: ЮУрГУ, П-447, 62 с., 16 ил., 14 табл., библиогр. список – 16наим., 3 плаката, 2 листа чертежей в А1.

В работе рассмотрены процессы получения доэвтектоидной среднеуглеродистой улучшаемой низколегированной литейной стали 32Х06Л и изготовления из нее детали для печи периодического действия.

Цель дипломной работы заключается в изучении и разработки технологического процесса производства корпуса спайдера.

Для выполнения работы были поставлены следующие задачи:

- 1) выбрать марку стали, удовлетворяющую требованиям;
- 2) проанализировать свойства и характеристику выбранной стали;
- 3) выбрать процесс выплавки и разливки стали;
- 4) изучить возможные дефекты слитка и методы их устранения или предотвращения;
- 5) подобрать подходящую упрочняющую термическую обработку

					<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>Мирошник</i>			<i>Технологические процессы изготовления литых деталей для бурильных установок</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Ильин</i>					5	62
<i>Н. Контр.</i>		<i>Корягин</i>			<i>ЮУрГУ кафедра МиФХМ</i>			
<i>Утверд.</i>		<i>Михайлов</i>						

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Условия работы и требования, предъявляемые к детали «Корпус спайдера»	9
1.2 Аргументация выбора стали и необходимой ее термообработки.....	11
1.3 Общая характеристика стали 32Х06Л	13
1.4 Легирующие элементы, примеси и раскислители в стали 32Х06Л и их влияние.....	15
2 ВЫПЛАВКА СТАЛИ	19
2.1 Выбор метода	19
2.2. Состав и свойства шихтовых материалов для плавки стали	24
2.3. Раскисление и рафинирование в индукционных печах	27
2.4. Шихтовые материалы для плавки стали 32Х06Л.....	27
2.5 Плавка и разливка стали	28
2.5.1 Выплавка стали кислым процессом в индукционной печи	28
2.5.2. Разливка стали. Крановый разливочный чайниковый ковш	29
2.5.3 Литье по выплавляемым моделям.....	31
3. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИТЕЙНОЙ СТАЛИ	32
3.1 Структура расплавов стали	32
3.2 Кристаллизация.....	33
4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	36
4.1 Режим термической обработки для стали 32Х06Л.....	36
4.2 Контроль качества термической обработки.....	39
4.2.1 Контроль внешнего вида.....	39
4.2.2 Контроль твердости термически обработанной детали.....	39
4.2.3 Контроль микроструктуры.....	39
4.3 Анализ возможного брака и способы устранения.....	39
4.4 Выбор и описание оборудования	41
4.5 Описание основного оборудования	42
5. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛИ 32Х06Л	44
6.ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	49
6.1 Тепло, расходуемое на нагрев металла.....	49
6.2 Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печки	49
6.3 Потери тепла через открытые загрузочные, разгрузочные окна и другие отверстия в футеровке	56
6.4 Потери тепла вследствие тепловых коротких замыканий.....	57
7.ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ.....	58

7.1 Тепловой баланс электрической печи.....	58
7.2 Расчет КПД электрической печи.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Термообработка стали – неотъемлемый этап производства большинства металлических изделий, является важной частью технологического процесса изготовления полуфабрикатов, изделий инструмента, определяет их надежность и долговечность в условиях эксплуатации. Качество детали существенно зависит от условий проведения термической обработки. Термическая обработка применяется в металлургии, машиностроении и в других отраслях промышленности.

Для процессов термообработки используют различные виды электропечей. Одним из наиболее распространённых видов электропечей периодического действия, используемых в промышленности являются камерные печи. Разнообразие их конструкций и назначений, простота обслуживания и удобство в использовании обеспечили широкую популярность и востребованность.

В зависимости от области применения камерной печи, особенностей процессов нагрева и работы с изделиями, существуют различные типы подобных электроустройств: печи для термообработки металлов, печи для запекания эмали, отжига опок, спекания металлов, запекания краски на стекле и прочее. Если говорить в целом, то камерные печи предназначены для проведения самых разнообразных термических процессов: от отжига керамики до термообработки металлов.

В дипломной работе рассмотрен технологический процесс изготовления корпуса спайдера. Также, были рассмотрены особенности нагрева данной детали из стали 32Х06Л в камерной печи сопротивления. Сталь 32Х06Л применяется для наиболее ответственного назначения, к которым предъявляют требования высокой прочности. Она должна иметь хорошие или, хотя бы удовлетворительные технологические и литейные свойства, быть экономично легированной и не поддаваться коррозии.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

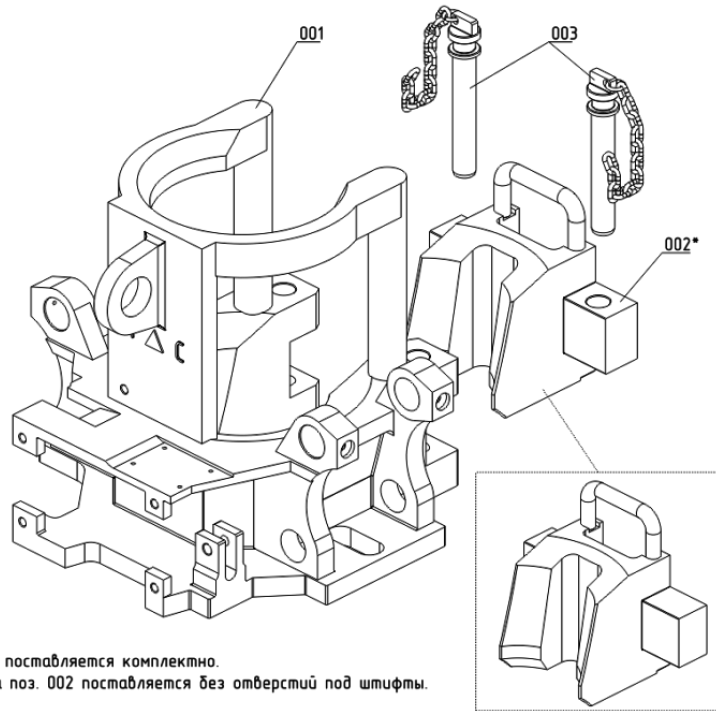
1.1 Условия работы и требования, предъявляемые к детали «Корпус спайдера»

Спайдер - это устройство, предназначенное для удержания на весу колонн спущенных в скважину труб путем захвата их за гладкую часть трубы. Корпус спайдера – деталь, предназначенная для защиты спайдера во время работы при повышенных напряжениях, статических и динамических нагрузках. Корпус спайдера имеет разъем для установки на устье скважины и прохода бурильных труб. Этот разъем перекрывается дверцей, установленной на пальцах с цепочками. В корпусе спайдера и дверце выполнено конусное отверстие. Ответный конус выполнен на блоке клиньев, состоящем из четырех разъемных секций. В каждую секцию устанавливаются сменные вкладыши, которые фиксируются быстросъемными штырями и стопорными шплинтами. Блок клиньев подвешен на подъемных рычагах. Два вала синхронно вращаются в подшипниках скольжения, запрессованных в кронштейны корпуса спайдера. Синхронизация осуществляется посредством штропа, установленного на эксцентрик шейке валов. Штроп связан с цилиндром. Защелка служит для ограничения хода цилиндра (ограничения открытия захвата) и фиксации блока клиньев в открытом состоянии. Ход штока цилиндра обеспечивает необходимую величину раскрытия зева захвата для прохода муфты бурильных труб. Подача управляющего сигнала (давления жидкости или воздуха) в одну из полостей цилиндра приводит в движение шток, что, в свою очередь, приводит к перемещению штропа, а соответственно синхронному повороту валов с подъемными рычагами. Захват бурильных труб происходит при опускании блока клиньев и смыкании последних. За счет сил трения и самозажима блока клиньев спайдера под воздействием веса колонны труб в конусном отверстии корпуса спайдера происходит удержание бурильных труб зубьями сменных вкладышей, наклон которых направлен противоположно весу бурильных труб. При подъеме цилиндром блока клиньев происходит раскрытие захвата и их освобождение.

На рисунке 1 изображена схема корпуса спайдера.

										Лист
										9
Лист	№	Пс								

150400.2017.447.00.00.ПЗ



* Корпус спайдера поставляется комплектно.
Задвижка спайдера поз. 002 поставляется без отверстий под штифты.

Рисунок 1 – Схема корпуса спайдера

Спайдер работает в тяжелых условиях – трубы покрыты нефтью, слоем коррозии, эмульсиями. Поэтому сталь, выбранная для изготовления корпуса спайдера должна не только обладать хорошей конструкционной прочностью, но и иметь хорошие или, хотя бы удовлетворительные технологические и литейные свойства, быть экономично легированной и не поддаваться коррозии.

Исходя из условий работы детали, назначаются технические требования к материалу корпуса спайдера. Учитывая, что деталь работает в достаточно сложных условиях, к ней предъявляются следующие технические требования:

- ударная вязкость КСU не менее 400 Дж/см²;
- условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ не менее 400Н/мм²;
- предел прочности σ_B не менее 600 МПа;
- твёрдость сердцевины НВне более 230 НВМПа.

«Корпус спайдера» деталь не большого сечения, но сложной конфигурации.

Отсюда следует, что деталь должна изготавливаться из низколегированной литейной стали, обладающей высокой прочностью, средней пластичностью и

вязкостью сердцевины. Корпус спайдера может работать при низких температурах, в пределах от -20 до -50°С, поэтому сталь должна обладать низким порогом хладноломкости.

1.2 Аргументация выбора стали и необходимой ее термообработки

Деталь «Корпус спайдера» изготавливается из стальных сложных фасонных отливок, отличительными чертами которых являются удовлетворительные литейные свойства. К литейным свойствам относят: жидкотекучесть, заполняемость, трещиностойчивость (стойкость против образования горячих трещин), склонность к образованию усадочных раковин. Главной отличительной чертой литейных легированных сталей по сравнению с деформируемыми является их возможность обеспечивать высокие характеристики механических свойств металла отливок без использования пластической деформации металла. Поэтому такие стали, в обязательном порядке исправляются термической обработкой – закалки (нормализацией) + высокий отпуск, т.е. улучшением. В результате чего образуются равноосные мелкие ферритные и перлитные зерна и сталь после улучшения имеет структуру сорбита отпуска. Важным условием достижения оптимальных свойств улучшаемых сталей является их полная прокаливаемость с получением мартенситной структуры [1]. Кроме того, можно применить отжиг при 600...650С, в результате которого снимаются остаточные литейные и появившиеся закалочные напряжения. После чего детали из таких сталей смогут работать в тяжелых условиях. В таких как, корпус спайдера - трубы покрыты нефтью, слоем коррозии, эмульсиями.

Учитывая требования по механическим свойствам, предъявляемые к корпусу спайдера, для него подходят улучшаемые низколегированные стали марок 32Х06Л и 40ХЛ.

Их химический состав, механические свойства и вид термообработки приведены ниже в таблице 1, таблице 2 и таблице 3 соответственно.

Таблица 1 - Химический состав улучшаемых низколегированных сталей
марок ГОСТ 977-88

Содержание элементов, масс%	Марки стали	
	40ХЛ	32Х06Л
C	0,35-0,45	0,25-0,35
Mn	0,4-0,9	0,4-0,9
Si	0,2-0,4	0,2-0,4
Cr	0,8-1,1	0,5-0,8
Cu	≤0,3	≤0,3
Ni	≤0,3	≤0,3
S	≤0,04	≤0,05
P	≤0,04	≤0,05
Fe	Основа	

Таблица 2 – Механические свойства конструкционных цементуемых сталей

Марка стали		40ХЛ	36Х06
Предел текучести σ_T , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Не менее	500	450
Временное сопротивление σ_B , Н/мм ² (кгс/мм ²)		650	650
Относительное удлинение δ , %		12	10
Относительное сужение ψ , %		25	20
Ударная вязкость, КСУ (Дж/см ²) $\frac{\text{кгс} \times \text{м}}{\text{см}^2}$		40	50

Таблица 3 - Вид термообработки

Марка стали			40ХЛ	32Х06Л	
Термообработка	закалка	Температура, °С	закалки	860	920
		Среда охлаждения		масло	масло
	отпуск	Температура, °С		600	620
		Среда охлаждения		Воздух или масло	Воздух или масло

У стали 32Х06Л пластические и вязкие характеристики при более высоком пределе прочности выше, чем у стали 40ХЛ. Также, чем меньше содержания углерода в стали, тем сочетание прочности и вязкости оптимально. Следовательно, сталь 32Х06Л более предпочтительна, так как в этом случае при закалке на одинаковую твердость в ее структуре мартенсита будет больше, чем в стали 40ХЛ.

Помимо прочего, с понижением содержания углерода, сталь менее подвержена деформации и образованию трещин при термической обработке. Следовательно, можем сделать вывод, учитывая вышеперечисленное и анализируя условия работы детали, что использовать сталь марки 32Х06Л для изготовления корпуса спайдера будет целесообразнее всего.

1.3 Общая характеристика стали 32Х06Л

Сталь 32Х06Л является средне-углеродистой конструкционной низколегированной сталью для отливок.

Имеет в своем составе легирующий элемент, как хром, для улучшения механических свойств. Это обеспечивает стали сочетание низкой стоимости и хорошего качества, а также понижает склонность к коррозии. Не склонна к отпускной хрупкости, флокеночувствительность отсутствует.

Недостатком стали 32Х06Л, можно считать, то что она ограниченно свариваемая. Поэтому для получения качественного сварного соединения

Лист	№	Стр.	150400.2017.447.00.00.ПЗ						Лист	13

необходимо провести несколько дополнительных операций. Нужно сделать подогрев до 100-120°C во время сварки, и последующую термообработку.

Таблица 4 – Технологические свойства материала 32Х06Л ГОСТ 977-88

Свариваемость:	ограниченно свариваемая
Флокеночувствительность:	не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна

Сталь 32Х06Л применяется для изготовления кронштейнов, балансиров, катков, спайдеров и других ответственных деталей с толщиной стенки до 50 мм и общей массой детали до 80 кг, также для изготовления различных деталей вагоностроения.

Сталь 32Х06Л является средне-углеродистой улучшаемой. Количество вредных примесей, содержание серы и фосфора, говорит нам о том, что данная сталь обыкновенная. А входящие в состав такие элементы, как хром – легированная. Так как содержание легированных элементов не превышает 1% , сталь 32Х06Л считается низколегированной. Кремния и марганца содержится в этой стали небольшое количество, они рассматриваются как раскислители. В таблице 5 приведены температуры критических точек стали 32Х06Л.

Таблица 5 – Температура критических точек стали 32Х06Л ГОСТ 977-88

Температура критических точек, °С			
Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁
755	810	-	-

Для стали 32Х06Л температура нагрева 850°C

В качестве охлаждающей среды при закалке целесообразно применять минеральное машинное масло [2].

Механические свойства стали 32Х06Л при температуре 20°C после закалки и высокого отпуска представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Механические свойства стали 32Х06Л при температуре 20°С

ГОСТ 977-88

Размер, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²
До 100 мм	450	650	10	20	500

Обозначения:

σ_B – Временное сопротивление, [МПа]

$\sigma_{0,2}$ - Предел текучести, [МПа]

δ – относительное удлинение при разрыве, [%]

ψ – относительное сужение, [%]

КСУ – ударная вязкость, [Дж/см²]

1.4 Легирующие элементы, примеси и раскислители в стали 32Х06Л и их влияние

Легирующие элементы - это элементы, которые специально вводят в сталь, чтобы получить заданные характеристики кристаллизации, структуры, физико-химических, механических и специальных свойств (жаростойкость, жаропрочность, износостойкость, хладостойкость, коррозионностойкость и др).

В стали 32Х06Л присутствуют такие легирующие элементы, как хром, кремний и марганец содержится в небольшом количестве, поэтому рассмотрим их как раскислители. Рассмотрим, в отдельности, влияние каждого элемента, а также влияние содержания углерода, серы и фосфора на сталь.

Углерод – это важнейший компонент углеродистой стали, от количества которого зависят ее свойства. С увеличением содержания углерода в составе, увеличивается количество цементита, что приводит к упрочнению стали, но в тоже время и к ее хрупкости. Так как, твердость цементита превышает твердость феррита примерно в 10 раз (800НВ и 80НВ соответственно), прочность и твердость стали будет расти, а пластичность и вязкость, наоборот, снижаться. Кроме того, чем выше содержание углерода, тем выше порог хладноломкости: каждая десятая доля процента повышает t_{50} примерно на 20°. Следовательно,

сталь содержащая углерода 0,4% и более переходит в хрупкое состояние примерно при 0 °С, т. е. она менее надежна в эксплуатации.

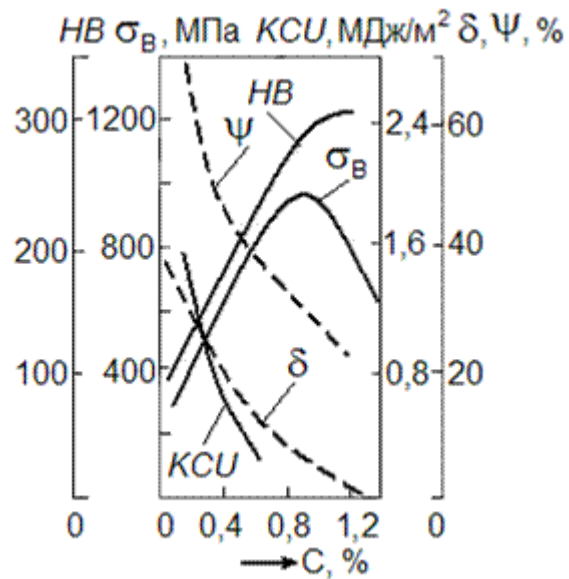


Рисунок 2 – Влияние углерода на механические свойства стали [3]

Влияет содержание углерода и на все технологические свойства стали: чем больше в стали углерода, тем она труднее обрабатывается резанием, хуже деформируется (особенно в холодном состоянии) и хуже сваривается. Углерод также влияет на закаливаемость и прокаливаемость стали. Во первых, он обеспечивает максимальную твердость мартенсита, и, кроме того, увеличивает устойчивость аустенитной фазы понижая точку A_3 , т.е расширяя γ область. Чем больше содержание углерода, тем ниже точка M_n . Во вторых, углерод необходим для увеличения прокаливаемости за счет уменьшения скорости превращения $\gamma-\alpha$.

Хром, один из легирующих элементов образующих карбиды в стали, среди других является средним карбидообразующим. Растворяясь в феррите, образует прочные карбиды $(Fe,Cr)_3C$, которые имеют свойство влиять на дисперсность получаемой структуры стали. Как и углерод, повышенное содержание хрома повышает твердость стали и хрупкость. Карбиды хрома также увеличивают сопротивление износу. Но следует знать, что в конструкционных сталях увеличивать содержание хрома не следует выше 1,8%, так как уровень ударной вязкости, особенно малоуглеродистой, становится низким. Хрому свойственно повышать критические точки A_1 и A_3 и понижать точку M_n . Следовательно, он

повышает температуру нагрева под закалку, уменьшает критическую скорость охлаждения и тем самым повышает прокаливаемость стали.

Кремний – не только один из основных легирующих элементов в стали, но также ведет себя как раскислитель. Поэтому содержание кремния задает тип произведенной стали. Сталь 32Х06Л содержит 0,2-0,4%Si. Это говорит о том, что это спокойная углеродистая сталь. Кремний полностью растворяется в феррите при содержании до 0,30 %. Он увеличивает прочность феррита, почти не снижая его пластичности. Также увеличивает ударную вязкость и запас прочности закаленной стали. Кремний повышает точки A_1 и A_3 , понижает точку M_n и препятствует процессу отпуска. Кремний является важным легирующим элементом, повышает способность сталей к термическому упрочнению и их износостойкость, увеличивает предел упругости и предел текучести.

В присутствии хрома кремний увеличивает отпускную хрупкость. Это связано с сильным перераспределением углерода в направлении обогащения и границ зерен, и других зон структурной неоднородности. С увеличением содержания хрома и кремния в сплаве граничный слой зерна все больше «ферритизирует». При этом углерод вытесняется из граничного слоя в объем зерна. Следовательно, положительная роль таких элементов заключается, по-видимому, в том, что они «очищают» границу зерна от углерода, а некоторые из них и от кислорода.

В комбинации с марганцем кремний обеспечивает более высокую закаливаемость стали.

Марганец – элемент, присутствующий практически во всех сталях в количестве от 0,30 % и более, в нашем случае содержание марганца составляет 0,4 – 0,9%. Марганец удаляет из стали кислород и серу. Он имеет меньшую тенденцию к сегрегации, чем любой другой легирующий элемент. Марганец благоприятно влияет на качество поверхности во всем диапазоне содержания углерода, за исключением сталей с очень низким содержанием углерода, а также снижает риск красноломкости. Марганец благоприятно влияет на ковкость и свариваемость сталей. Марганец не образует своего карбида, а только

						<i>150400.2017.447.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Лист</i>	№	Пс					17

растворяется в цементите и образует в сталях легированный цементит. Марганец способствует образованию аустенита и поэтому расширяет аустенитную область диаграммы состояния.

Сера не растворяется в железе, поэтому любое ее количество образует с железом сульфид железа FeS. Он входит в состав эвтектики, которая образуется при 988 °С.

Повышенное содержание серы в сталях приводит к красноломкости из-за низкоплавких сульфидных эвтектик, возникающих по границам зерен. Явление красноломкости происходит при температуре 800°С, то есть при температуре красного каления стали.

Сера оказывает вредное влияние на пластичность, ударную вязкость, свариваемость и качество поверхности сталей (особенно в сталях с низким содержанием углерода и марганца). Имеет очень сильную склонность к сегрегации по границам зерен, что приводит к снижению пластичности сталей в горячем состоянии. Однако серу в количестве от 0,08 до 0,33 % намеренно добавляют в стали для автоматической механической обработки.

Фосфор (P) сегрегирует при затвердевании стали, но в меньшей степени, чем углерод и сера. Он растворяется в феррите за счет чего и повышает прочность сталей. Однако, с увеличением содержания фосфора в сталях их пластичность и ударная вязкость снижается и повышается склонность к хладноломкости.

Растворимость фосфора при высокой температуре достигает 1,2 %. С понижением температуры растворимость фосфора в железе резко падает до 0,02-0,03 %. Такое количество фосфора характерно для сталей.

Фосфор имеет сильную тенденцию сегрегировать на границах зерен, это приводит к отпускной хрупкости легированных сталей, особенно в марганцевых, хромистых, магниево-кремниевых, хромоникелевых и хромомарганцевых сталях. Фосфор, кроме того, увеличивает упрочняемость сталей и замедляет, как и кремний, распад мартенсита в сталях.

Повышенное содержание фосфора часто задают в низколегированных сталях для улучшения их механической обработки, особенно автоматической [4].

2 ВЫПЛАВКА СТАЛИ

2.1 Выбор метода

Сейчас существует множество различных методов плавки. Выбор плавильного агрегата и способа плавки зависит от свойств стали и ее состава, массы отливки, объема производства, технико-экономических показателей и требований к качеству. Для сталей с высокими требованиями применяются электрошлаковые, вакуумно-дуговые, плазменно-дуговые, индукционно-вакуумные печи [5]. В таблице 7, 8 приведены характеристики плавильных печей и способов плавки сталей в литейных цехах. [6]

Таблица 7 (Начало) – Характеристика плавильных агрегатов для выплавки стали

Плавильный агрегат	Источник высокой температуры	Характер окислителей	Область применения
Мартеновская печь с основной или кислой футеровкой	Газообразное или жидкое топливо	Кислород продуктов сгорания, железная руда, технический кислород	Углеродистые и низколегированные стали для крупных и средних отливок общего назначения
Малый конвертер	Экзотермические реакции окисления примесей	Кислород вдуваемого воздуха	Низко- и среднеуглеродистые стали преимущественно для мелких и средних отливок различного назначения
Дуговая электропечь с кислой футеровкой	Электрическая дуга	Атмосферный воздух, железная руда	Углеродистые и низколегированные стали для отливок различного назначения

Таблица 7 (Продолжение) – Характеристика плавильных агрегатов для выплавки стали

Индукционная печь с основной или кислой футеровкой	Наведенные токи	Атмосферный воздух	Углеродистые и легированные стали для мелких и средних отливок различного назначения
Вакуумно-дуговая печь	Электрическая дуга	-	Для отливок из специальных сталей
Вакуумно-индукционная печь	Наведенные токи	-	Для отливок специального назначения из легированных сталей
Плазменно-дуговая печь	Плазменный факел	-	Для переплава высоколегированных сталей и тугоплавких сплавов
Электронно-лучевая печь	Поток электронов	-	То же

Таблица 8 (Начало) – Характеристика способов плавки литейных сталей

Способ	Преимущества	Недостатки
Основной мартеновский процесс	Применение лома, удаление серы и фосфора	Низкая производительность, большие затраты на ремонт, невозможность работы с перерывами, низкие санитарно-экологические условия работы
Кислый мартеновский процесс	Высокое качество стали	Те же, что и основного процесса; необходимость использования шихты, чистой по сере и фосфору

Лист	№	Стр		

150400.2017.447.00.00.ПЗ

Лист
20

Таблица 8 (Продолжение) – Характеристика способов плавки литейных сталей

Основной электродуговой процесс	Использование рядовой шихты, малый угар легирующих элементов, возможность удаление серы и фосфора. Высокое качество стали	Низкая стойкость футеровки при работе с перерывами; пониженная производительность и повышенная стоимость стали по сравнению с кислым процессом
Кислый электродуговой процесс	Повышенная производительность, низкие эксплуатационные расходы, приспособленность к работе с перерывами	Невозможность удаления серы и фосфора, высокий угар легирующих элементов
Индукционный процесс	Высокая производительность, малый угар легирующих элементов, компактность установки, быстрый нагрев и хорошее перемешивание стали	Необходимость применения чистых исходных материалов, низкая температура шлаков, их высокая вязкость и малая активность, что затрудняет диффузионные процессы дефосфорации, десульфурации и раскисления
Специальные процессы плавки (ВДП, ЭПШ, ЭЛЛ, ПДП)	Высокое качество стали за счет глубокого раскисления, рафинирования	Необходимость использования специальной шихты, сложное оборудование, низкая производительность, высокая стоимость стали, малые массы металла

По данным из таблиц можно сделать вывод, что оптимальным выбором для выплавки стали 32Х06Л для детали «корпус спайдера» считается индукционный процесс, с применением индукционной печи с кислой футеровкой.

Предпочтительна кислая футеровка, потому что ее стойкость в два раза выше основной, но при этом она имеет наименьшую стоимость. Также следует отметить, что тигли с основной футеровкой применяются для выплавки высоколегированных сталей, когда сталь 32Х06Л низколегированная.

Рассмотрим процесс плавки стали в индукционной тигельной печи кислым процессом.

В отличие от основного процесса, кислый обладает следующими преимуществами: малые тепловые потери, низкий расход электроэнергии, малая длительность плавки, высокая стойкость футеровки и меньший расход огнеупоров, низкая стоимость и высокая производительность. Но в случае использования кислого процесса необходимо применять шихтовые материалы чистые по фосфору и сере.

Плавка стали будет происходить в индукционной тигельной печи (см. рисунок 3)

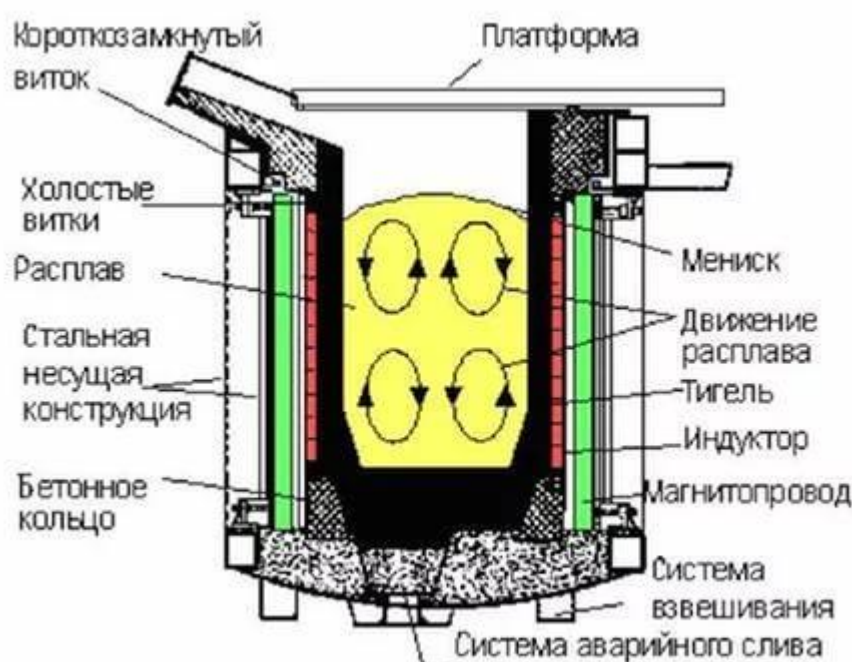


Рисунок 3 – Схема индукционной тигельной печи

Принцип работы индукционной печи основан на поглощении электромагнитной энергии материалом шихты, которая загружена в тигель, помещенный в переменное электрическое вихревое поле. В тигельных в отличие

от других индукционных, переменное магнитное поле появляется при отсутствии стандартного сердечника. Тигель в форме цилиндра располагается внутри индукторной полости. Печь, или тигель изготавливается из материала, который прекрасно сопротивляется огню и подключается к переменному электрическому току.

Выбор индукционной печи связан со следующими ее преимуществами перед дуговыми электропечами:

- ✓ За счет активного перемещения металла, полученный расплав имеет высокую однородность;
- ✓ В этой печи возможно фокусировать энергию или зонное перемещение;
- ✓ В индукционных печах отсутствует угар от легирующих элементов;
- ✓ Эти печи обладают широкими техническими возможностями в вопросе выбора способа футеровки, емкости печи, а также ее рабочей частоте;
- ✓ Возможно очень точное регулирование температуры расплава;
- ✓ Скорость проведения плавки достаточно высокая;
- ✓ Индукционная печь практически мгновенно готова к работе;

Не менее важное преимущество индукционной тигельной печи является то что, используемый в индукционных печах технологический процесс экологически чистый и безопасный для человека.

Но, индукционные печи имеют и свои недостатки. Например, шлак имеет более низкую температуру из-за того, что шлак в таких печах нагревается за счет того тепла, которое выделяется в металле. Отсюда вытекает еще один недостаток: удаление из металлов серы и фосфора затрудняется за счет вязких холодных шлаков и горячих металлов. Существует еще такой недостаток как, быстрой выход из строя футеровки. Это происходит из-за того что в зазоре между металлом и индуктором наблюдается рассеивание магнитного потока, в последствии чего приходится уменьшать толщину футеровки тигля печи.

2.2. Состав и свойства шихтовых материалов для плавки стали

Как говорилось выше, плавку стали производим в индукционной печи с кислой футеровкой. Именно с кислой, потому что основная футеровка применяется для сталей с повышенным содержанием марганца, никеля, титана и алюминия, а сталь 32X06Л такой не является.

Подборка шихтовых материалов является очень важной частью технологического процесса литейного производства. Так как от правильного выбора шихты, в значительной степени, определяется качество жидкого металла [7]. Необходимо получить хорошую малодефектную первичную структуру, так как в отличии от слитка, подвергающегося последующему переделу (прокатка, ковка и др, литая деталь, для улучшения свойств, подвергается только термической обработки.

Шихту для индукционных печей следует составлять, учитывая рациональный подбор размеров кусков шихты, добиваясь их плотную укладку в печи, но избегая заклинивания.

Так как, в мелких кусках шихты генерируется низкая удельная мощность, это приводит к увеличению длительности плавления и расхода электроэнергии. Удельная мощность зависит от частоты тока. Чем ниже частота тока, тем больше глубина его проникновения и тем меньше удельная мощность. Именно поэтому следует увеличивать размеры кусков шихты с уменьшением частоты тока.

При использовании тонкой шихты на низкочастотной печи, возникает эффект "прозрачности", когда шихта не нагревается или как говорят не видна индуктору.

Если шихта будет сильно окислена, то между отдельными кусками получается плохой электрический контакт, вихревые токи замыкаются в каждом отдельном куске шихты, что увеличивает продолжительность плавления и расход электроэнергии. Это нам не нужно, поэтому шихта не должна быть сильно окислена. Плавка проходит тем быстрее и электроэнергии расходуется тем меньше, чем плотнее уложена шихта. Наиболее рационально шихту укладывать следующим образом. Для смягчения ударов крупных кусков уложить мелкую шихту, а с целью предохранения металла от окисления завалить немного шлака,

ферромарганца и ферросилиция на дно тигля. Также на дно тигля следует присаживать тугоплавкие ферросплавы, температура плавления которых выше достигаемых в тигле температур. Что бы они начали растворяться сразу после появления первых порций жидкого металла. Наиболее крупные куски уложить у стенок тигля на $\frac{2}{3}$ высоты индуктора так, чтобы магнитные силовые линии пересекали максимальную площадь сечения куска. Остальную часть шихты загружать до $\frac{2}{3}$ высоты по оси тигля с максимальной плотностью укладки, а выше — менее плотно. Тигель не рекомендуется заполнять выше уровня индуктора, из за того, что куски, которые лежат выше индуктора, не пересекаются магнитными силовыми линиями и нагреваются в основном вследствие теплопроводности от нижележащих кусков, что затрудняет осаживание шихты в процессе плавления. На малых печах шихту загружают вручную. Печи большой емкости можно загружать бадьей, для того чтобы можно было сократить время загрузки до 1—2 мин. После окончания загрузки индукционную печь необходимо закрыть крышкой и включить ток. В начале периода плавления, после включения печи, между кусками шихты в местах их плохого контакта происходят замыкания, вызывающие в цепи индуктора толчки тока, поэтому плавление начинают на пониженной мощности источника. По мере прекращения толчков источник тока переключают на полную мощность. Плавление шихты начинается в первую очередь на половине высоты индуктора у стенок тигля, потом постепенно распространяется вниз и вверх. Следовательно, шихта должна иметь возможность опускаться и погружаться в жидкий металл. Однако в верхней части тигля куски шихты могут заклиниваться и свариваться, тем самым образуя «мосты». Зависание шихты может привести к сильному неконтролируемому перегреву жидкого металла и разрушению футеровки поэтому оно крайне нежелательно. Даже временное зависание шихты увеличивает продолжительность плавления и расход электроэнергии. Чтобы шихта в процессе плавления не зависала необходимо ее периодически осаживать при помощи ломика с резиновой изоляцией ручки. По мере оседания шихты постепенно погружают оставшуюся часть ее, необходимо проконтролировать за тем, чтобы холодные куски не

попадали в жидкий металл, а то это может вызвать вскипание металла и сваливание холодной шихты в верхней части тигля с образованием трудно устранимых мостов, которые приводят к дефектам. Также нельзя допускать оголения металла, так как это ведет к окислению и насыщению его газами. Что бы этого избежать в тигель по ходу плавления присаживают шлаковую смесь, состоящую из извести, плавикового шпата и шамота. Во время плавления важно следить за показаниями приборов и поддерживать максимальную мощность источника тока. По мере прогрева и оплавления шихты реактивная мощность установки изменяется, что требует периодической подстройки контура в резонанс. Подстройку осуществляют включением или отключением конденсаторов.

При выплавке стали в индукционной печи, окисление примесей, марганца, кремния и фосфора, происходит уже в период плавления. Во избежание восстановления фосфора при повышении температуры необходимо удалить избыточный фосфор в шихте. Новый шлак наводят из извести, плавикового шпата шамота. Для повышения активности сравнительно холодных шлаков при индукционной плавке, содержание плавикового шпата в шлаковой смеси увеличивают до 20%. Эти шлаки интенсивно разрушают футеровку печи, поэтому в индукционной печи стараются не применять процессы, которые требуют активного участия шлака. Чтобы улучшить взаимодействие между шлаком и металлом, шлак изолируют от потерь тепла (закрывают тигель крышкой) или даже подогревают дугой, элементами сопротивления и другими способами. Если необходимо дополнительное окисление примесей (фосфора и углерода), то в тигель малыми порциями присаживают железную руду и шлаковую смесь.

Интенсивное кипение металла в тигле может привести к выплескиванию металла, поэтому очередную порцию руды присаживают лишь после успокоения ванны. Расход железной руды составляет 3—5% от массы стали. Окисление примесей возможно также и путем продувки металла газообразным кислородом, имея, однако, в виду, что интенсивность продувки стали в связи с опасностью его

									Лист
									26
	Лист	№	Ст						

150400.2017.447.00.00.ПЗ

выплескивания из тигля должна быть невелика. В среднем окисление примесей редко продолжается более 15 мин.

2.3. Раскисление и рафинирование в индукционных печах

В ИТП возможно осуществлять и диффузионное, и глубинное раскисление. Технология раскисления металла в индукционной печи мало отличается от технологии раскисления в дуговых электропечах. Однако, с таким отличием. интенсивное электродинамическое движение металла значительно ускоряет процессы раскисления, распределения присадок и рафинирования металла от продуктов раскисления. Поэтому в ИТП раскисление и рафинирование металла требуют меньшего времени., в отличии от дуговых.

В то же время преимущества диффузионного раскисления в связи с низкой температурой шлака выражены в индукционных печах еще слабее, чем в дуговых. При необходимости в индукционных печах можно проводить и десульфурацию металла. Для этого необходимо несколько раз скачивать и наводить высокоосновной восстановительный шлак, применять подогрев шлака, увеличивать расход плавикового шпата, что вызывает увеличение продолжительности плавки, снижает стойкость футеровки печи, усложняет работу. Поэтому в большинстве случаев стремятся так подбирать шихту и так вести процесс, чтобы необходимость специального проведения десульфурации была исключена [8].

2.4. Шихтовые материалы для плавки стали 32Х06Л

Основные материалы:

1. Лом конструкционной нелегированной стали и собственный возврат стали 30Л.
2. Лом чугунный (16А, 17А) ГОСТ 2787-75 – 5,2%
3. Ферросилиций ФС-45 (ГОСТ 1415-93) – 0,6%
4. Ферромарганец ФМн-78 (ГОСТ 1415-91) – 0,6%
5. Алюминий АВ86 (ГОСТ 295-79) – 90...100 г на 1 кг сплава.

						<i>150400.2017.447.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Лист</i>	№	Пс					27

6. Феррохром ФХ001Б(ГОСТ 4757-91) – 1,2%

Вспомогательные материалы:

Перлит вспученный (ГОСТ 10832-2009) – 0,1% от металлозавалки.

2.5 Плавка и разливка стали

2.5.1 Выплавка стали кислым процессом в индукционной печи

Плавку в индукционных печах проводят методом сплавления из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов или, наиболее частый случай, методом переплава, используя отходы соответствующих легированных сталей или чистый по сере и фосфору углеродистый скрап и ферросплавы. Плавку методом переплава ведут без окислительного периода (возможно с непродолжительной продувкой кислородом, позволявшая сохранить значительную часть содержащихся в отходах дорогостоящих легирующих элементов). Так как без окисления углерод и фосфор не окисляются, содержание фосфора в шихте не должно превышать его допустимых пределов в готовой стали, в связи с науглероживанием металла электродами. Допустимое количество остальных элементов в шихте определяют с учетом состава выплавляемой стали и того, что в период плавления они угорают. Соотношение угарных элементов смотри в таблице 9.

Таблица 9 – Соотношение угарных элементов

Элементы	Al	Ti	Si	V	Mn	Cr	W
Величина угара, %	100	80–90	40–60	15–25	15–25	10–15	5–15

В шихту вводят не только легированные отходы, также могут добавить и мягкое железо. Мягкое железо – это шихтовая заготовка с низким содержанием углерода и фосфора и, при необходимости, феррохром и ферровольфрам.

Процесс загрузки и плавления шихты производят также как и при обычной плавке; в период плавления загружают 1–1,5% извести или известняка. После расплавления сразу приступают к проведению восстановительного периода. При этом раскисление, десульфурацию и легирование металла производят обычным

способом. При диффузионном раскислении из шлака восстанавливается хром, вольфрам и ванадий. Если после расплавления шлак получается густым из-за высокого содержания оксида магния, его скачивают и наводят новый. В конце периода плавания на металл загружают флюс, необходимый для образования шлакового покрова. В кислых печах в качестве флюса используют бой стекла и другие материалы, богатые SiO₂. Перед выпуском металла печь выключают и производят выдержку 5-10 мин.

Особенностью кислого процесса является то, что плавка происходит под шлаком, который содержит примерно до 65% кремнезема. Так как под таким шлаком сера и фосфор не удаляется, шихта должна содержать этих элементов меньше, чем готовая сталь, на 0.01%.

2.5.2. Разливка стали. Крановый разливочный чайниковый ковш

Полученная сталь, любым из способов, на металлургических заводах и в металлургическом производстве машиностроительных предприятий, разливается в различные формы, формируясь или в окончательную форму заготовки, или в виде слитков. Затем полученные формы или слитки идут на дальнейшее преобразование в прокатные или кузнечные цехи.

Из печей жидкий металл выпускают в большие разливочные ковши, в дне которых имеется отверстия для слива металла.

Металл направляется либо на установку для непрерывной разливки, либо в изложницы.

Заполнение изложниц производится различными способами: либо сверху непосредственно из донного отверстия ковша, либо сифонным способом, когда в изложницы металл поступает через вертикальный литник, затем через горизонтальные протоки литниковой системы сразу к нескольким формам.

Слитки выполняются от 0,5 до 100 тонн и более. Для изготовления крупных слитков сталь обычно заливается сверху в формы мелких - сифонным способом.

Так как сталь бывает спокойная, полуспокойная и кипящая, то для получения более высокой плотности металла, кипящую сталь необходимо формировать в слитки сифонным способом разливки.

						150400.2017.447.00.00.ПЗ	Лист
Лист	№	Ст					29

Сифонной разливка (рисунок 4), основана на принципе сообщающихся сосудов, сталью одновременно заполняют несколько (от двух до шестидесяти) изложниц. Жидкая сталь из ковша поступает в установленную на поддоне футерованную изнутри центровую, а из нее по футерованным каналам поддона в изложницы снизу. После наполнения всех установленных на поддоне изложниц стопор закрывают, и ковш транспортируют к следующему поддону и т.п.

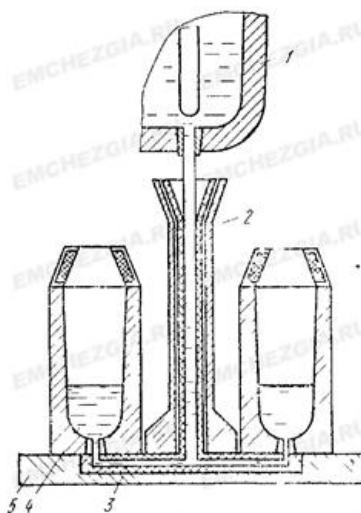


Рисунок 4 – Сифонная разливка стали [6]

Рассмотрим принцип действия ковша чайникового типа. Они применяются для транспортировки расплава металлов от плавильного устройства к разливочному участку. Ковши предназначены для стали, чугуна, а также цветных сплавов. Особенностью данных ковшей является сифонный принцип разливки металла, когда более чистый металл, находящийся в нижней части, разливается и при этом шлаковые частицы на зеркале металла задерживаются огнеупорной перегородкой. Следует отметить, что при использовании этих ковшей окисление и охлаждение металла будет больше, чем при разливке из стопорных ковшей.

Литейные чайниковые ковши серии СВ изготавливаются с соотношением 1/1,1 (высота ковша в 1,1 раза больше его диаметра у основания). Ковши комплектуются червячным самотормозящимся редуктором с передаточным числом, в зависимости от емкости ковша от 64 до 4820. Диаметр маховика для ручного управления наклоном от 600 до 1100мм.(рисунок 5).

Ковши имеют пояса жесткости, кованные транспортировочные цапфы, поворотные траверсы, червячные редукторы. Ковши поставляются без футеровочных материалов [9].

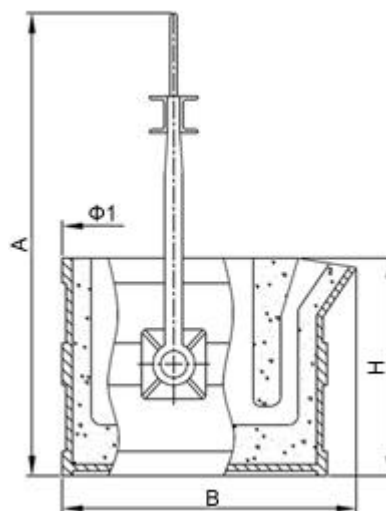


Рисунок 5 – Схема литейного чайникового ковша

2.5.3 Литье по выплавляемым моделям

Деталь корпус спайдера выплавляют методом литья по выплавляемым моделям т.к этот способ является эффективным и более экономичным при изготовлении сложных отливок массой от 10г до 100кг из любых сплавов в условиях мелкосерийного производства.

Сущность данного способа заключается в следующем:

1. Из легкоплавкого материала изготавливают модель в пресс-форме.
2. Полученную модель покрывают огнеупорным составом.
3. Проводят химическое отверждение для создания вокруг модели прочной оболочки.
4. Выплавляют модель, прокаливают оболочковую форму.
5. Устанавливают в контейнер, обсыпают песком или дробью для предупреждения разрушения и заливают расплавом [6].

3 СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИТЕЙНОЙ СТАЛИ

В отличие от деформируемых сталей, литейные стали не подвергаются последующему переделу т.е прокатке, ковке и т.п. Поэтому очень важно уделять внимание подготовке качественного жидкого расплава.

3.1 Структура расплавов стали

Важная задача при выплавки стали это получить жидкий сплав, который будет отвечать заданному химическому составу, будет обладать нужными физико-химическими свойствами и всё это с минимальными расходами шихты, энергозатратами и продолжительностью плавки.

Жидкая сталь представляет собой сплав железа с различными элементами-примесями. Сочетания этих примесей существует множество, поэтому свойства жидкой стали изменяются в широких пределах. Если с высокой точностью определять зависимость свойств жидкой стали от изменения температуры или концентрации примесей, то скачкообразное изменение свойств характерно для изменения структуры жидкости (разупорядочивания или, наоборот, ассоциации атомов, возникновения микрогруппировок, расслаивания и т. п.). Свойства жидкости, зависящие от изменения ее структуры, называют структурно-чувствительными. К их числу прежде всего относят плотность, вязкость, поверхностное натяжение, электрическую проводимость, теплопроводность, скорость распространения звука и др. В металлургии стали наиболее часто используют данные о плотности, вязкости и поверхностном натяжении.

Плотность является одним из важнейших структурно-чувствительных свойств и определяется выражением $\rho = 1/V_{уд}$, где $V_{уд}$ — удельный объем жидкого (или твердого) металла; $V_{уд} = V_{ат} + V_{св}$, где $V_{ат}$ — сумма объема атомов или молекул, не изменяющаяся при изменении температуры и давления; $V_{св}$ — свободное пространство между атомами (молекулами), которое изменяется при изменении внешних условий. При изменении $V_{св}$ изменится и плотность. Если это

										Лист
										32
Лист		№		Пс		150400.2017.447.00.00.ПЗ				

изменение имеет скачкообразный характер, то при данных условиях (температуре, концентрации примеси и др.) имеет место изменение строения (структуры) жидкой стали.

Таким образом, перегибы или переломы, наблюдаемые на политермах (кривые изменения температуры расплава) или изотермах (кривые изменения состава расплава при данной температуре) плотности, свидетельствуют об определенных изменениях строения расплава. В большинстве исследований отмечен линейный (без перегибов) характер изменения плотности жидких металлов от температуры, однако в некоторых исследованиях на политермах плотности обнаружены перегибы.

Между типом кристаллической решетки металла и изменением плотности при плавлении существует зависимость. Металлы, которые обладают плотными кристаллическими решетками, плавятся с увеличением объема, понижением плотности и координационного числа. Металлы, которые имеют «рыхлые» кристаллические решетки (тетрагональные, ромбоэдрические ит.д.), плавятся с увеличением плотности и координационного числа и уменьшением удельного объема.

Вязкость тоже является важнейшим физико-химическим свойством жидкости. Она (внутреннее трение) характеризует свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление необратимому перемещению одной их части относительно другой при сдвиге, растяжении или других видах деформации.

Большое влияние на вязкость расплавов промышленных сталей оказывает их химический состав, содержание в них неметаллических включений и газов. Именно поэтому при рафинировании свойство вязкости падает.

3.2 Кристаллизация

Структура стали в отливке формируется в процессе кристаллизации. Различают первичную (образование и рост кристаллов при переходе стали из жидкого состояния в твердое) и вторичную (изменение формы и размеров кристаллов во время полиморфных превращений) кристаллизацию.

Факторы, определяющие первичную кристаллизацию стали.

- 1) Химический состав
- 2) Технология плавки (продолжительность, температура, раскисление и т.п.)
- 3) Свойства формы (теплоемкость, теплопроводность, плотность и т.п.)
- 4) Условия заливки

Формирование литой структуры стали начинается с образования центров кристаллизации при переохлаждении расплава на величину $\Delta t = t_{кр} - t_{сп}$.

Устойчивым и способным к росту является зародыш с радиусом больше критического, т.е. радиуса у которого энергия Гиббса равна работе образования поверхности раздела. Этот зародыш является центром кристаллизации. В реальных условиях литья сталей Δt обычно не превышает нескольких десятков градусов, но если повысить чистоту сталей, используя чистые синтетические шихтовые материалы, рафинирование и т.п., то можно увеличить Δt до нескольких сотен градусов. Следовательно, увеличить скорость зарождения гомогенных и гетерогенных центров кристаллизации и повысить линейную скорость роста кристаллов (рисунок 7).

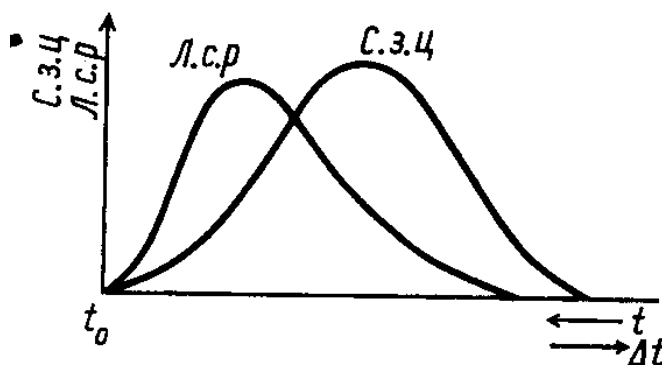


Рисунок 7– Зависимость скорости зарождения центров кристаллизации (с.з.ц.) и линейной скорости роста (л.с.р.) от степени переохлаждения Δt

Структура стальной отливки характеризуется формой и размерами кристаллов – зернами, а также элементами дендритной микроструктуры (рисунок 8).

Величина той или иной зоны в отливках зависит от химического состава стали, скорости охлаждения отливки, материала формы, ее теплоаккумулирующей способности, температуры заливки металла в форму [6].

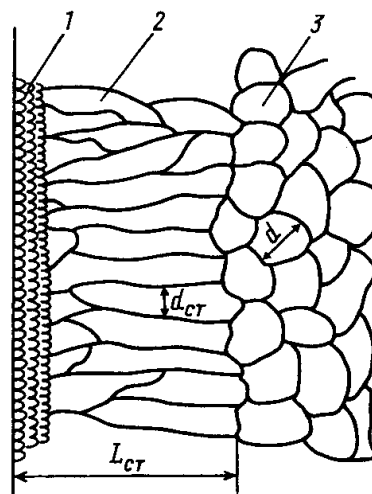


Рисунок 8 – Макроструктура стальной отливки:

1 – наружная мелкозернистая зона;

2 – зона столбчатых кристаллов;

3 – центральная зона крупных равноосных кристаллов

Лист	№	Пс		

150400.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

35

Таблица 11 – Дефекты, возникающие при термической обработке, и способы их предупреждения

Вид брака	Возможная причина брака	Меры предупреждения
При закалке		
Камневи- дный излом	Перегрев при термической обработке	ограничение температуры нагрева (до критической температуры) стали перед горячей деформацией и при термической обработке
Недогрев	Быстрый нагрев до температуры ниже критической	Отжиг + нормальная закалка
Перегрев при за- калке – крупное зерно	Нарушение технологиче- ского режима термической обработки	Отжиг, нормализация для измельчения зерна и новая закалка от принятых температур
Пережог	Недогрев до температуры близкой к температуре плавления	Неисправный брак

Таблица 11 (Продолжение) – Дефекты, возникающие при термической обработке, и способы их предупреждения

Наружные и внутренние трещины	Быстрый нагрев при закалке	Подогрев перед закалкой
	Быстрое охлаждение от температур закалки в области мартенситного превращения	Изменение условий охлаждения
	Большой разрыв между операциями закалки и отпуска	Выполнение отпуска непосредственно после закалки
При отпуске		
Недоотпуск	При температуре отпуска ниже нормальной	Дополнительный отпуском
Переотпуск	При температуре отпуска выше нормальной или изменении длительности отпуска.	Брак

4.4 Выбор и описание оборудования

Оборудование термических цехов делится на основное и вспомогательное. Основное оборудование – это оборудование, применяемое для выполнения технологических операций, связанных с нагревом и охлаждением деталей: печи, нагревательные установки и охлаждающие устройства (закалочные бак, закалочные машины и оборудование для глубокого охлаждения). Также

нимотносятся дополнительное оборудование. Дополнительное оборудование применяют для выполнения дополнительных технологических операций в термических печах – правки и очистки деталей.

К вспомогательному оборудованию относят:

1. Установки для приготовления карбюризатора и контролируемых атмосфер; теплоэнергетическое оборудование, в состав которого входят устройства для охлаждения закалочной жидкости и пр.

2. Средства механизации – подъемно-транспортное оборудование (мостовые и поворотные краны, катучие балки, монорельсы с электротельферами, рольганги, конвейеры и т. п.)

4.5 Описание основного оборудования

Учитывая специфику термической обработки данной детали выбираем печи периодического действия. Среди печей периодического действия наибольшее распространение получили камерные и шахтные электрические печи сопротивления. Для данной детали, целесообразно выбрать камерные печи для всех видов термической обработки.

Камерные печи широко применяются для различных видов термической обработки деталей в единичном и мелкосерийном производстве. Загрузка и выгрузка деталей обычно производится вручную. При массе деталей 9 кг и более печи оборудуются средствами малой механизации (подвесными клещами на монорельсе, загрузочными механизмами и др.). Печи могут иметь как окислительную, так и защитную атмосферу. Для работы с защитной атмосферой рабочие камеры печей герметизируются, а у дверцы печи применяется газовая завеса.

Выпускают серийные камерные печи сопротивления различных типоразмеров с металлическими и карборундовыми нагревателями. Печи с металлическими нагревателями по рабочей температуре подразделяются на низкотемпературные (до 700 °С), среднетемпературные (до 1000 °С) и

					<i>150400.2017.447.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Лист</i>	№	Пс				42

высокотемпературные (до 1200 °С). Более высокую температуру позволяют получить печи с карборундовыми нагревателями. Печи с рабочей температурой до 700 °С предназначены для отпуска стальных деталей, обработки деталей из цветных металлов и сплавов; печи с температурой до 1000 °С – для отжига, нормализации и закалки стальных деталей; печи с рабочей температурой до 1300 °С - для термообработки деталей и инструментов из быстрорежущих и других высоколегированных сталей [14].

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. На рисунке 10 приведена электрическая печь.



Рисунок 10 – Электрическая камерная печь [5]

В настоящее время выпускают электрические камерные печи различных размеров и мощностей.

В данном случае применим печь с мощностью 120 кВт и максимальной температурой нагрева 1200°С. Рабочее пространство печи составляет 1000 × 2000 × 1000 мм.

5 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛИ 32Х06Л

Проводится расчет времени нагрева заготовок из стали 32Х06Л в электрической камерной печи, исходные данные для расчета представлены в таблице 12.

Таблица 12–Исходные данные для расчетов

Характеристика	d, мм	688	
Детали	l, мм	438	
	Марка стали	32Х06Л	
Температура нагрева, °С		890	
Размеры рабочего пространства печи, мм	В	1000	
	L	2000	
	H	1000	
Толщина слоев кладки боковой стенки, мм	Шамот класса «А»	125	
	Диатомитовый кирпич Д-500	150	
Толщина слоев кладки свода, мм	Шамот класса «Б»	115	
	Диатомитовый кирпич Д-500	150	
Толщина слоев кладки пода, мм	Шамот класса «А»	230	
		Шамот-легковес ШЛ-1,3	150
Окно			510 × 510

Рассчитаем время нагрева изделий из стали 32Х06Л в электрической печи постоянного действия. Две детали диаметром 688 мм, длиной 500 мм расположены на поддоне с расстоянием между ними $0,5d = 344$ мм. Температура нагрева изделий 890°С, температура печи 920°С.

Когда холодное изделие загрузили в печь, поверхностные слои интенсивно нагреваются. А из-за термического сопротивления изделия, центральные слои будут нагреваться медленнее.

Величина перепада температур по толщине изделия зависит от отношения термического сопротивления изделия к термическому сопротивлению передачи тепла к его поверхности. Чем больше это 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:

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

где S – характерный геометрический размер изделия: в нашем случае для цилиндра – его радиус;

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 [16].

Зная температуру нагрева металла $t_n=890^\circ\text{C}$ определим значения теплофизических констант:

$\lambda = 39 \text{ Вт/(м·К)}$;

$c = 503 \text{ Дж/(кг·К)}$;

$\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$.

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.

$$T_{\text{п}} = 920^\circ\text{С} + 273 = 1193 \text{ К} \quad T_{\text{Мср}} = \frac{1}{3} \cdot (20 + 2 \cdot 890) + 273 = 873 \text{ К}$$

$C_{\text{пр}}$ – 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 .

$$\varepsilon_{\text{М}} = 0,8; \quad \varepsilon_{\text{п}} = 0,85;$$

$$F_{\text{М}} = 2(0,688^2 + 2 \cdot 0,688 \cdot 0,438) = 2,14 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{п}} = 2 \cdot 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 \cdot 1 = 10 \text{ м}^2$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{5,67}{\frac{1}{0,8} + \frac{2,14}{10}\left(\frac{1}{0,85} - 1\right)} = 4,4$$

Найдем коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием:

$$\alpha_{\text{л}} = 4,4 \cdot \frac{\left[\left(\frac{1193}{100}\right)^4 - \left(\frac{873}{100}\right)^4\right]}{1193 - 873} = 200 \text{ , Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией принимается от 10 до 15

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

Найдем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = 200 + 12 = 212 \text{ , Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Геометрический размер изделия: $S = r = 0,344 \text{ м}$

Рассчитаем число Био:

$$Bi = \frac{212 \cdot 0,344}{39} = 1,9$$

Т.к. значение числа Био больше 0,25, но меньше 4 для расчета можно использовать формулу для нагрева теплотехнически «тонких» изделий для среднетемпературных печей с введением поправочного коэффициента m , который зависит от массивности тел и их формы. Коэффициент m для пластины:

$$m = 1 + \frac{Bi}{3} \quad (6)$$

$$\tau_{\text{нагр}} = \frac{G \cdot c}{\alpha \cdot F_{\text{М}}} \cdot \ln \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{мн}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{мк}}}, \text{ с} \quad (7)$$

где G – масса нагреваемых изделий, кг;

$t_{\text{мн}}$ и $t_{\text{мк}}$ – температуры нагреваемых изделий соответственно в начале и в конце нагрева, °С;

c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К;

$F_{\text{М}}$ – тепловоспринимающая поверхность загрузки, м².

Рассчитаем массу нагреваемых изделий:

$$G = V \cdot \gamma \quad (8)$$

где V – объем детали, м³;

γ – плотность изделий, кг/м³

$$V = 0,508 \cdot 0,464 \cdot 0,438 = 0,1$$

$$G=0,1 \cdot 7850 = 810 \text{ кг}$$

Для трех деталей $G = 810 \cdot 2 = 1620 \text{ кг}$

Найдем время нагрева, используя формулу 7:

$$\tau_{\text{нагр}} = \frac{1620 \cdot 503 \cdot 1,7}{212 \cdot 0,138} \cdot \ln \frac{920 - 20}{920 - 890} = 10381 \text{ с} = 173 \text{ мин}$$

6 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, это уравнение, которое связывает приход и расход тепла. При проектировании электрической печи тепловой баланс составляют с целью определения мощности.

Расходные статьи:

6.1 Тепло, расходуемое на нагрев металла

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

$$Q_M = \frac{G}{\tau_n} \cdot c_M (t_{MK} - t_{MH}), \text{ Вт} \quad (9)$$

где G – масса всех изделий, кг;

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

τ_n – время нагрева изделий в печи, с;

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

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

$$Q_M = \frac{1620}{10381} \cdot 503 \cdot (890 - 20) = 68290 \text{ Вт}$$

6.2 Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи

Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи:

$$Q_{кл} = 2 \cdot Q_{бок.ст.} + 2 \cdot Q_{торц.ст.} + Q_{свода} + Q_{пода}. \quad (10)$$

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

$$Q_{ст} = \frac{t_i - t_0}{\frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n \cdot F_n} + \frac{1}{\alpha_B \cdot F_{iAD}}}, \text{ Вт} \quad (11)$$

где t_i – 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;
 $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности кладки печи в окружающую среду, Вт/(м² К).

$F_{нар}$ – наружная поверхность кладки.

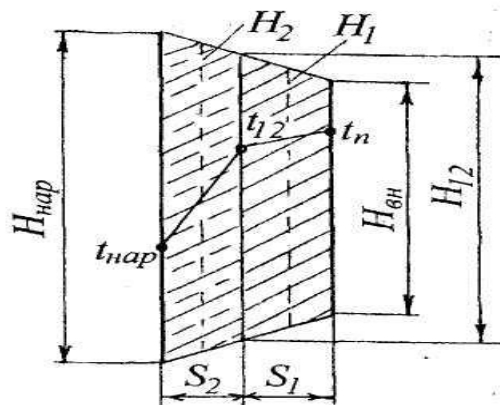


Рисунок 11 – Эскиз к расчету потерь тепла теплопроводностью через стенку печи

Таблица 13 – Коэффициенты теплопроводности данных материалов приведены

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:

$$t_1 = \frac{t_{п} + t_{1,2}}{2}; t_2 = \frac{t_{1,2} + t_{2,3}}{2}; \dots, t_r = \frac{t_{r-1,r} + t_{i\delta}}{2}. \quad (12)$$

где $t_{1,2}, t_{2,3}, \dots, t_{n-1,n}$ – температуры между отдельными слоями кладки, °С;
 $t_{п}$ – температура внутренней поверхности футеровки равна температуре печи, °С
 $t_{нар}$ – 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 теплотери через кладку. После этого уточняем полученные значения.

Тепловые потери через кладку можно представить в виде:

$$Q_{KL} = \frac{t_{II} - t_0}{R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{НАР}}, \text{ Вт} \quad (13)$$

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

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

$$R_n = \frac{S_n}{F_n \lambda_n} \quad (14)$$

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

$$Q_{СТ} = \frac{t_i + t_{1,2}}{R_1}; Q_{СТ} = \frac{t_{1,2} + t_{2,3}}{R_2}; \dots; Q_{СТ} = \frac{t_{i-1,i} + t_{i\partial}}{R_i} \quad (15)$$

Откуда:

$$t_{1,2} = t_{II} - Q_{СТ} \cdot R_1; t_{2,3} = t_{II} - Q_{СТ} \cdot (R_1 + R_2); \quad (16)$$

$$t_{нар} = t_{II} - Q_{СТ} \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n). \quad (17)$$

Если полученные в результате проверки температуры будут отличаться от выбранных не более чем на 10°C , 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 [15].

а) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки боковой стенки

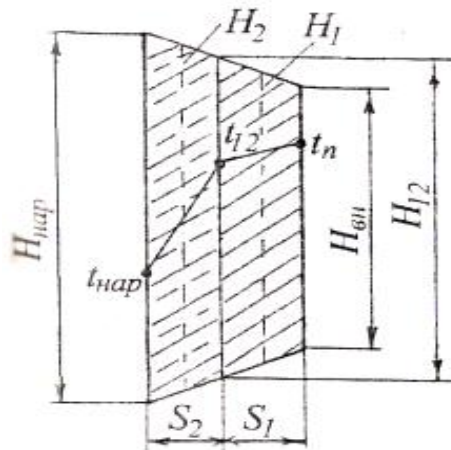


Рисунок 12 – Эскиз боковых стенок печи

$$F_{ВН} = 0,344 \cdot 2 = 0,69 \text{ м}^2$$

$$F_{1,2} = (0,344 + 2 \cdot 0,125) \cdot (2 + 2 \cdot 0,125) = 1,34 \text{ м}^2$$

$$F_{нар} = (0,344 + 2 \cdot 0,125 + 2 \cdot 0,150) \cdot (2 + 2 \cdot 0,125 + 2 \cdot 0,150) = 2,3 \text{ м}^2$$

$$F_1 = \sqrt{F_{ВН} \cdot F_{1,2}}; \quad (18)$$

$$F_2 = \sqrt{F_{нар} \cdot F_{1,2}} \quad (19)$$

$$F_1 = 0,96 \text{ м}^2; \quad F_2 = 1,7 \text{ м}^2$$

$$\alpha_B = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,125 \text{ м} \quad S_2 = 0,150 \text{ м}$$

$$t_n = 920 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{1,2} = 710 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{нар} = 90 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{920 + 710}{2} = 815 \text{ }^\circ\text{C} = 1088 \text{ К}$$

$$\lambda_1 = 0,980 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 1088 = 1,28 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_2 = \frac{710 + 90}{2} = 400 \text{ }^\circ\text{C} = 673 \text{ К}$$

$$\lambda_2 = 0,132 + 0,233 \cdot 10^{-3} \cdot 618 = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{\text{бок.ст.}} = \frac{920 - 20}{\frac{0,125}{1,28 \cdot 0,96} + \frac{0,150}{0,29 \cdot 1,7} + \frac{1}{12 \cdot 2,3}} = 2045 \text{ Вт}$$

$$\text{Проверка: } t_{12} = 920 - 2045 \cdot 0,1 = 715 \text{ (710)}$$

$$t_{нар} = 920 - 2045 \cdot (0,1 + 0,3) = 100 \text{ (90)}$$

б) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки торцевой:

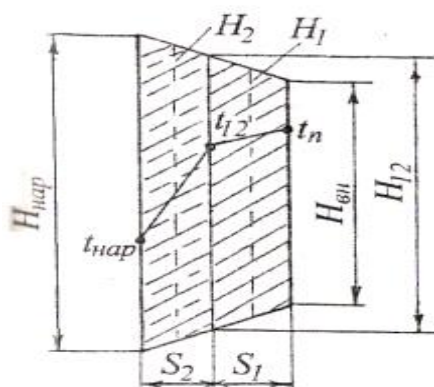


Рисунок 13 - Эскиз торцевых стенок печи

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

$$F_{1,2} = (1 + 2 \cdot 0,115) \cdot (1 + 2 \cdot 0,115) = 1,5 \text{ м}^2$$

$$F_{нар} = (1 + 2 \cdot 0,115 + 2 \cdot 0,15) \cdot (1 + 2 \cdot 0,115 + 2 \cdot 0,15) = 2,34 \text{ м}^2$$

$$F_1 = 1,2 \text{ м}^2 \quad F_2 = 1,9 \text{ м}^2$$

$$\alpha_B = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,115 \text{ м} \quad S_2 = 0,150 \text{ м}$$

$$t_{п} = 920 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{1,2} = 740 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{нар} = 60 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{920 + 740}{2} = 830 \text{ }^\circ\text{C} = 1103, \text{ К}$$

$$\lambda_1 = 0,980 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 1063 = 1,28, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_2 = \frac{740 + 60}{2} = 400 \text{ }^\circ\text{C} = 633, \text{ К}$$

$$\lambda_2 = 0,132 + 0,233 \cdot 10^{-3} \cdot 633 = 0,28, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{торц.} = \frac{920 - 20}{\frac{0,115}{1,28 \cdot 1,2} + \frac{0,15}{0,28 \cdot 1,9} + \frac{1}{12 \cdot 2,34}} = 2250 \text{ Вт}$$

Проверка: $t_{1,2} = 920 - 2250 \cdot 0,08 = 740 \text{ (740)}$

$t_{нар} = 850 - 2250 \cdot (0,08 + 0,28) = 65 \text{ (60)}$

Лист	№	Пс		

в) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки свода:

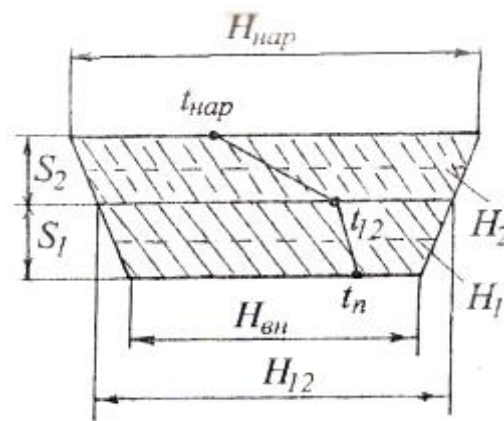


Рисунок 14 – Эскиз свода печи

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

$$F_{1,2} = (2 + 2 \cdot 0,115) \cdot (1 + 2 \cdot 0,115) = 2,74 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = (2 + 2 \cdot 0,115 + 2 \cdot 0,15) \cdot (1 + 2 \cdot 0,115 + 2 \cdot 0,15) = 3,87 \text{ м}^2$$

$$F_1 = 2,3 \text{ м}^2 \quad F_2 = 3,3 \text{ м}^2$$

$$\alpha_{\text{в}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,115 \text{ м} \quad S_2 = 0,150 \text{ м}$$

$$t_{\text{п}} = 920 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{1,2} = 770 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{нар}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{920 + 770}{2} = 845 \text{ }^\circ\text{C} = 1118, \text{ К}$$

$$\lambda_1 = 0,923 + 0,438 \cdot 10^{-3} \cdot 1118 = 1,41 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_2 = \frac{770 + 95}{2} = 433 \text{ }^\circ\text{C} = 706, \text{ К}$$

$$\lambda_2 = 0,132 + 0,233 \cdot 10^{-3} \cdot 706 = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{\text{свод}} = \frac{920 - 20}{\frac{0,115}{1,41 \cdot 2,3} + \frac{0,15}{0,29 \cdot 3,3} + \frac{1}{12 \cdot 3,87}} = 4090 \text{ Вт}$$

Проверка: $t_{12} = 920 - 4090 \cdot 0,04 = 776 \text{ (770)}$

$t_{\text{нар}} = 920 - 4090 \cdot (0,04 + 0,15) = 102 \text{ (95)}$

Лист	№	Ст
------	---	----

г) Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки пода:

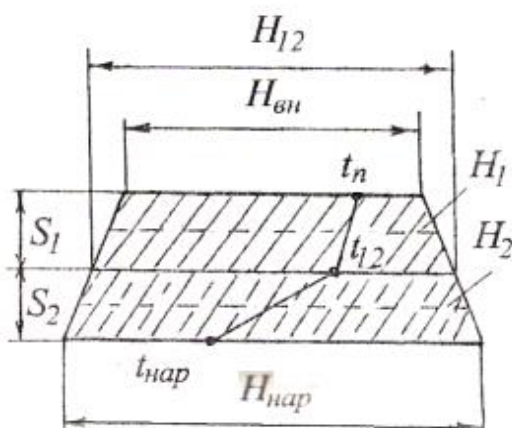


Рисунок 15 – Эскиз пода печи

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

$$F_{1,2} = (1 + 2 \cdot 0,23) \cdot (2 + 2 \cdot 0,23) = 3,59 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = (1 + 2 \cdot 0,23 + 2 \cdot 0,15) \cdot (2 + 2 \cdot 0,23 + 2 \cdot 0,15) = 4,86 \text{ м}^2$$

$$F_1 = 2,68 \text{ м}^2 \quad ; \quad F_2 = 4,18 \text{ м}^2$$

$$\alpha_{\text{в}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$S_1 = 0,230 \text{ м} \quad S_2 = 0,150 \text{ м}$$

$$t_{\text{г}} = 920 \text{ °C}; \quad t_{1,2} = 480 \text{ °C} \quad ; \quad t_{\text{нар}} = 130 \text{ °C}; \quad t_0 = 20 \text{ °C}$$

$$t_1 = \frac{920 + 480}{2} = 700 \text{ °C} = 973 \text{ К}$$

$$\lambda_1 = 0,980 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 973 = 1,25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_2 = \frac{480 + 130}{2} = 305 \text{ °C} = 578 \text{ К}$$

$$\lambda_2 = 0,442 + 0,535 \cdot 10^{-3} \cdot 578 = 0,75 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$Q_{\text{под}} = \frac{920 - 20}{\frac{0,23}{1,25 \cdot 2,68} + \frac{0,15}{4,18 \cdot 0,75} + \frac{1}{12 \cdot 4,86}} = 6428 \text{ Вт}$$

$$\text{Проверка: } t_{12} = 920 - 6428 \cdot 0,07 = 470 \text{ (480)}$$

$$t_{\text{нар}} = 920 - 6428 \cdot (0,07 + 0,05) = 140 \text{ (130)}$$

Рассчитаем тепловые потери через кладку:

$$Q_{\text{кл}} = 2 \cdot 2045 + 2 \cdot 2250 + 4090 + 6428 = 19108 \text{ Вт}$$

6.3 Потери тепла через открытые загрузочные, разгрузочные окна и другие отверстия в футеровке

Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно определяется по формуле 16:

$$Q_{\text{луч}} = C_0 \cdot \varepsilon \cdot \psi \cdot F_{\text{отв}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right] \cdot \Delta \tau, \text{ Вт} \quad (20)$$

где ε – степень черноты излучающего тела

$F_{\text{отв}}$ – площадь поперечного сечения отверстия, м^2 ;

$T_{\text{п}}$, $T_{\text{в}}$ – 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.

$$F_{\text{отв}} = 0,26 \text{ м}^2$$

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

Согласно справочным данным (рисунок 16) коэффициент диафрагмирования принимаем равным $\psi = 0,5$.

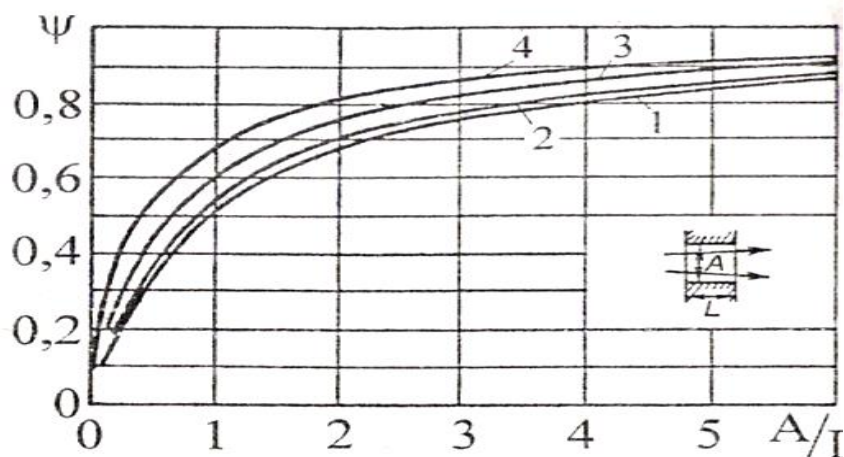


Рисунок 16 – Коэффициент диафрагмирования отверстий

7 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

7.1 Тепловой баланс электрической печи

Данные статей прихода и расхода приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Данные статей прихода и расхода.

Статьи прихода	кВт	%	Статьи расхода	кВт	%
Теплота, выделившаяся в нагревательных элементах	97,2	100	Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	68,29	70,26
			Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи	19,108	19,65
			Потери тепла через открытое загрузочное окно	0,252	0,26
			Потери тепла вследствие коротких замыканий	9,554	9,83
Итого	97,2	100	Итого	97,2	100

7.2 Расчет КПД электрической печи

Обычно КПД электрических печей 50...80%.

Из составленного теплового баланса печи найдем ее коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{Q_M}{Q_{\text{расх}}} \cdot 100\% \quad (23)$$

$$\eta = \frac{68,29}{97,2} \cdot 100\% = 70,25 \%$$

Установленная мощность электрической печи:

$$N_{\text{уст}} = kN_{\text{расч}}, \text{ Вт (кВт)} \quad (24)$$

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

Для печей с мощностью меньше 150 кВт принимают $k = 1,2 - 1,6$.

Лист	№	Пс
------	---	----

150400.2017.447.00.00.ПЗ

Лист

58

Примем $k = 1,2$

$$N_{уст} = 1,2 \cdot 97,2 = 116,64 \text{ кВт}$$

					<i>150400.2017.447.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						59
<i>Лист</i>	№	Пс				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дипломной работы был изучен вопрос о процессе изготовления литых деталей для бурильных установок на примере корпуса спайдера.

На основе литературных сведений был разработан технологический процесс изготовления этой детали. В зависимости от того какие необходимо получить нам свойства был выбран режим термообработки. Рассмотрены возможные варианты дефектов и методы их предотвращения.

Для определения экономической целесообразности проведения нагрева в камерной печи был составлен тепловой баланс на основании теплового расчета электрической печи периодического действия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Смирнов, М.А., Основы термической обработки стали: Учебное пособие / Смирнов М.А., Счастливец В.М., Журавлев Л.Г. - Екатеринбург: УрО РАН, 1999.
- 2 Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов: справочник / А.С. Зубченко – 2-е изд., - доп. и испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с
- 3 Бернштейн, М.Л. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справ. изд. в 3-х т. /., Курдюмов Г.В., Меськин В.С. и др.; – М.: Интернет Инжиниринг, 2005.- С. 528.
- 4 Лахтина, О. М. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Ю. М. Лахтин, А. Г. Рахштадт. – М.: Машиностроение, 1980. – 783с.
- 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 Козлов, Л. Я. Производство стальных отливок: учебник для вузов / – М.:МИСИС, 2003. – 352с.
- 7 Трухов, А. П. Литейные славы и плавка: учебник для вузов / А.П.Трухов, А.И.Маляров. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
- 8 Вайнберг, А.М. Индукционные плавильные печи / М. - Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 456 с.
- 9 Могилев, В.К. Справочник литейщика: Справочник для профессионального обучения рабочих на производстве / Могилев В.К., Лев – М.: Машиностроение, 1988. – 272с.: ил.
- 10 Кудрин, В.А. Внепечная обработка стали и чугуна / В.А. Кудрин – М.: МИСиС, 1992. – 256 с.

- 11 Карева, Н. Т. Термическая обработка сталей и сплавов: Учебное пособие / Н. Т. Карева, И. В. Лапина, С. И. Ильин – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006 – 98 с.
- 12 Ильин, С.И. Технология термической обработки сталей: учебное пособие / С.И.Ильин, Ю.Д.Корягин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 120 с.
- 13 Тылкин, М.А. Справочник термиста ремонтной службы/ М.А. Тылкин – Москва: Изд-во Металлургия, 1981. – 648 с.
- 14 Рустем, С.Л. Оборудование и проектирование термических цехов / С.Л. Рустем. – М.: Машиностроение, 1971. –288 с.
- 15 Корягин, Ю.Д. Тепловые и электрические расчеты термических печей: учебное пособие/ Ю.Д. Корягин. – 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 178с.

Лист	№	Пс							Лист
									62

150400.2017.447.00.00.ПЗ