

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ / Г.Г. Михайлов/
_____ 2018 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА
ИЗ СТАЛИ 30ХМЛ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ПРОЕКТУ)
ЮУрГУ – 22.03.02.2018.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель проекта доцент
_____ (Ильин С.И.)
_____ 2018 г.

Автор работы
студент группы П-447
_____ (Ахметова Я.Н.)
_____ 2018г.

Нормоконтролер
_____ (доцент Ильин С.И.)
_____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Ахметова Я.Н., Технологические процессы изготовления зубчатого колеса из стали 30ХМЛ. Челябинск, ЮУрГУ, МиМТ, 2018 г., 63 с., 2 чертежа, 2 плаката, библиографический список –13 наим .

В дипломном проекте разработаны технологические процессы изготовления зубчатого колеса из стали 30ХМЛ.

Из стали 30ХМЛ ГОСТ 977-88 разработана технология изготовления отливки «зубчатое колесо» по технологии вакуумно-пленочной формовки.

В работе рассмотрены основные этапы проектирования технологии для литой детали: назначены припуски на механическую обработку, выбрано оптимальное положение отливки в форме в период заливки и затвердевания, выбран оптимальный разъем формы, разработана конструкция и конфигурация стержней, спроектирована и рассчитана литниково-питающая система. Кроме того, выбраны составы формовочных и стержневых смесей для производства данной отливки, а также описана технология получения сплава. Отдельно рассмотрена методика контроля качества отливок.

Выбрано оборудование для различных этапов термообработки, рассчитана термическая и механическая обработка детали.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Технологические процессы изготовления зубчатого колеса из стали 30ХМЛ	Лит.	Листов	Лист
Разраб.		Ахметова Я.Н				Д	63	5
Провер.		Ильин С.И.						
Реценз.								
Н.конт.		Ильин С.И.						
Утв.		Михайлов Г.Г						
						ЮУрГУ Кафедра МиФХМ		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Требования при выборе стали для детали и способа ее упрочнения	9
2 Выбор и характеристика стали	10
3 Технология и оборудование для получения заготовки	15
3.1 Выбор оборудования плавильного отделения	15
3.2 Формовочно-заливочно-выбивное отделение	18
3.3 Обрубное отделение	23
4 Выбор режима термообработки	27
4.1 Предварительная термообработка заготовок	27
4.2 Окончательная термообработка	28
4.2.1 Улучшение	28
4.2.2 Поверхностная термообработка	29
4.3 Преимущества и недостатки эксплуатации электрических печей сопротивления и топливных газовых печей	30
4.4 Выбор оборудования для проведения предварительной термообработки	31
4.5 Выбор оборудования для проведения окончательной термообработки	32
4.5.1 Выбор оборудования для объемной термообработки	32
4.5.2 Выбор оборудования для проведения нагрева под закалку	33
4.5.3 Выбор оборудования для охлаждения	34
4.5.4 Выбор оборудования для проведения отпуска после закалки	34
4.6 Выбор оборудования для поверхностной термообработки	35
4.6.1 Выбор установки для термообработки токами высокой частоты	35
4.6.2 Выбор оборудования для проведения отпуска после закалки токами высокой частоты	36
5 Печи СДО 20.40.15/10	36
6 Способы очистки деталей после термообработки	40

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

7	Возможные виды брака при проведении термообработки (улучшения) и меры его предупреждения	41
8	Контроль качества после термообработки	41
8.1	Испытание на твердость	41
8.2	Металлографическое исследование	43
9	Расчет времени нагрева заготовки из стали 30ХМЛ	44
10	Тепловой расчет электрической печи периодического действия	49
10.1	Приходные статьи теплового баланса	49
10.1.1	Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла для печей периодического действия	49
10.1.2	Потери тепла на нагрев приспособлений	50
10.1.3	Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи	50
10.1.4	Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно	57
10.1.5	Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями	58
11	3D модель заготовки	60
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	62

Введение

Любая машина или изделие состоит из отдельных деталей, выполненных из различных материалов и изготовленных определенными способами.

Среди способов изготовления деталей литье занимает значимое место, несколько уступая в последние годы сварке. Доля литых деталей в конструкции современных машин колеблется в широких пределах от 25 до 80%, составляя в среднем около 40%.

Литые детали отличаются широким разнообразием по массе (от нескольких грамм до сотен тонн), габаритам (от нескольких миллиметров до нескольких метров).

Их изготавливают из различных сплавов, материалов, в том числе и пластмасс. Методы литья при этом могут использоваться самые разнообразные в зависимости от требований к качеству деталей, серийности их изготовления.

Различают шесть групп сложности отливок, что накладывает определенный отпечаток на изготовление детали. Простые детали могут изготавливаться без стержней, а сложные практически выполняются из стержней (до 40 стержней на отливку).

Конструкция детали разрабатывается конструктором машины и он в меньшей мере думает о том, каким методом будет изготавливаться деталь и конечно не учитывает особенностей литейной технологии. Поэтому до 80% деталей затем дорабатываются инженерами-технологами и, соответственно, литейщиками. Их усилия сводятся к повышению технологичности детали (снижению массы, энергозатрат, уменьшению брака).

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

1 Требования при выборе стали для детали и способа ее упрочнения

Выбор стали для изготовления детали машины и ее упрочнения определяется уровнем требуемой конструкционной прочности, технологичностью термической обработки, объемом производства, дефицитностью и стоимостью материала, себестоимостью упрочняющей термообработки.

При выборе стали и упрочняющей обработки исходят из общих требований:

- эксплуатационное требование:

Сталь должна удовлетворять условиям работы в машине, обеспечивать заданную конструкционную прочность, которая изначально рассчитывается и затем подтверждается испытаниями самих деталей на специальных стендах.

Расчетами и последующими испытаниями устанавливаются уровень требуемых механических свойств (σ_B , σ_T , δ , Ψ , КСУ), показатель трещиностойчивости $K_{т.у.}$.

После упрочняющей термообработки деталь должна иметь механические свойства, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства стали

Твердость, НВ	Предел текучести σ_T , МПа	Временное сопротивление σ_B , МПа	Относи- тельное удлинение δ , %	Относи- тельное сужение Ψ , %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м ²
не менее					
закалка и отпуск					
229-277	638	785	12	25	392

Показатель трещиностойчивости $K_{т.у.}$ должен быть не ниже 0,8.

Зубчатые колеса – это детали, у которых необходимо иметь мягкую сердцевину и твердую износостойкую поверхность, они работают в условиях статических и динамических нагрузок. Твердость сердцевины – 229...277 НВ, твердость на поверхности (глубиной 3-4 мм) зубьев -40...45 HRC.

- технологическое требование:

Сталь должна удовлетворять требованиям минимальной трудоемкости изготовления детали. Зубчатые колеса подвергаются механической обработке с обеспечением достаточной чистоты поверхности металла. Сталь должна обладать хорошей обрабатываемостью, поэтому особое значение приобретает выбор правильного режима предварительной термообработки заготовок. Твердость стали для хорошей обрабатываемости должна быть в пределах 160...220 НВ.

- экономическое требование:

Материал должен быть как можно дешевле. Дорогие легированные стали, содержащие дефицитные никель, молибден, ванадий и другие элементы следует применять лишь в тех случаях, когда более дешевые стали не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к изделию. Технологический процесс термообработки должен быть экономическим и производительным [1].

2 Выбор и характеристика стали

Марка применяемой стали - 30ХМЛ. Это легированная среднеуглеродистая конструкционная литейная сталь. Сталь 30ХМЛ относится к перлитному классу, а в равновесном состоянии к группе доэвтектоидных сталей.

Химический состав стали 30ХМЛ дан в ГОСТ 977-88 и указан в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 30ХМЛ

Содержание элементов, %								
C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Cu	Ni
					Не более			
0,25-0,35	0,20-0,50	0,50-0,80	0,80-1,20	0,20-0,30	0,04	0,04	0,3	0,3

Сталь 30ХМЛ применяется для изготовления шестерен, крестовин, зубчатых колес и других ответственных деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности и вязкости, работающих под действием статических и динамических нагрузок.

После упрочняющей термообработки отливки из стали 30ХМЛ обеспечивают механические свойства, указанные в таблице 1, твердость сердцевины– 229...277 НВ.

Сталь 30ХМЛ обладает следующими литейными свойствами:

- температура начала затвердевания – 1486-1498 °С;
- показатель трещиностойчивости $K_{т.у.}$ – 0,8;
- склонность к образованию усадочной раковины $K_{у.р}$ – 1,1;
- жидкотекучесть $K_{ж.т}$ – 1,0;
- линейная усадка– 2,2-2,3 %;
- склонность к образованию усадочной пористости $K_{у.п}$ – 1,0.

Показатель трещиностойчивости соответствует требованию, указанному в пункте 1. Сталь 30ХМЛ обладает следующими технологическими свойствами:

- свариваемость - ограниченно-свариваемая (сварка возможна при подогреве до 100-120 °С с последующей термообработкой);
- обрабатываемость резанием – в термообработанном состоянии при НВ 174-179;
- флокеночувствительна;
- не склонна к отпускной хрупкости.

Сталь 30ХМЛ обеспечивает исправление дефектов литья методом сварки. Предварительная термообработка заготовки обеспечивает твердость металла в пределах 160...220 НВ.

В качестве основного легирующего элемента стали 30ХМЛ использован сравнительно недорогой и недефицитный элемент – хром. Содержание молибдена – незначительное. Легирование данными элементами оправдано в первую очередь для обеспечения требуемой прокаливаемости. Под прокаливаемостью подразумевают глубину проникновения закаленной зоны.

Максимальное сечение (толщина стенки) зубчатого колеса достигает до 40 мм.

Преимуществом данной марки перед углеродистой сталью является то, что в изделиях крупных сечений диаметром свыше 20 мм легированная хромом и молибденом сталь обладает большей прокаливаемостью и обеспечивает требуемый

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

уровень механических свойств по всему сечению детали. На рисунке 1 представлены полосы прокаливаемости для стали 30ХМЛ.

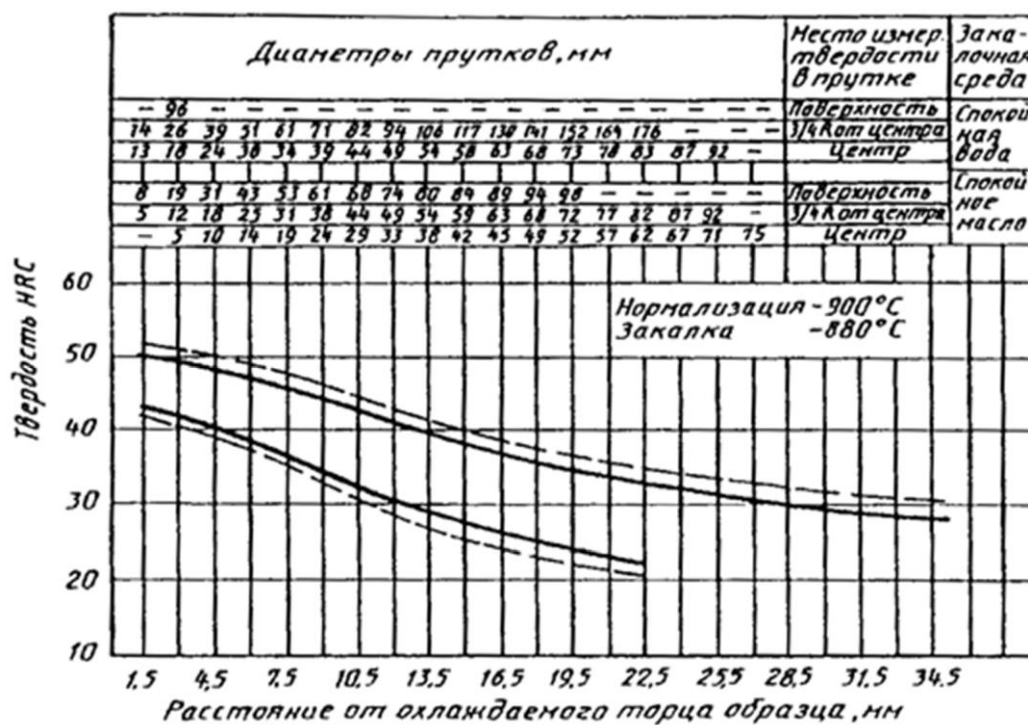


Рисунок 1 – Полосы прокаливаемости для стали 30ХМЛ

Изделия из углеродистой стали охлаждаются после закалки в воде. Хром и молибден увеличивают прокаливаемость деталей и уменьшают критическую скорость закалки $V_{кр}$, указанную на рисунке 2. Благодаря большей прокаливаемости и меньшей критической скорости закалки $V_{кр}$ замена углеродистой стали легированной сталью типа 30ХМЛ позволяет проводить закалку деталей в менее резком охладителе – масле, что уменьшает деформацию изделий и опасность образования трещин.

Сталь 30ХМЛ является доэвтектоидной сталью [2].

В таблице 3 указаны температуры критических точек на диаграмме образования аустенита при нагреве металла и распада переохлажденного аустенита.

Таблица 3 - Температура критических точек, °C

$A_{c1}, ^\circ C$	$A_{c3}, ^\circ$	$A_{r3}, ^\circ C$	$A_{r1}, ^\circ C$
757	802	750	693

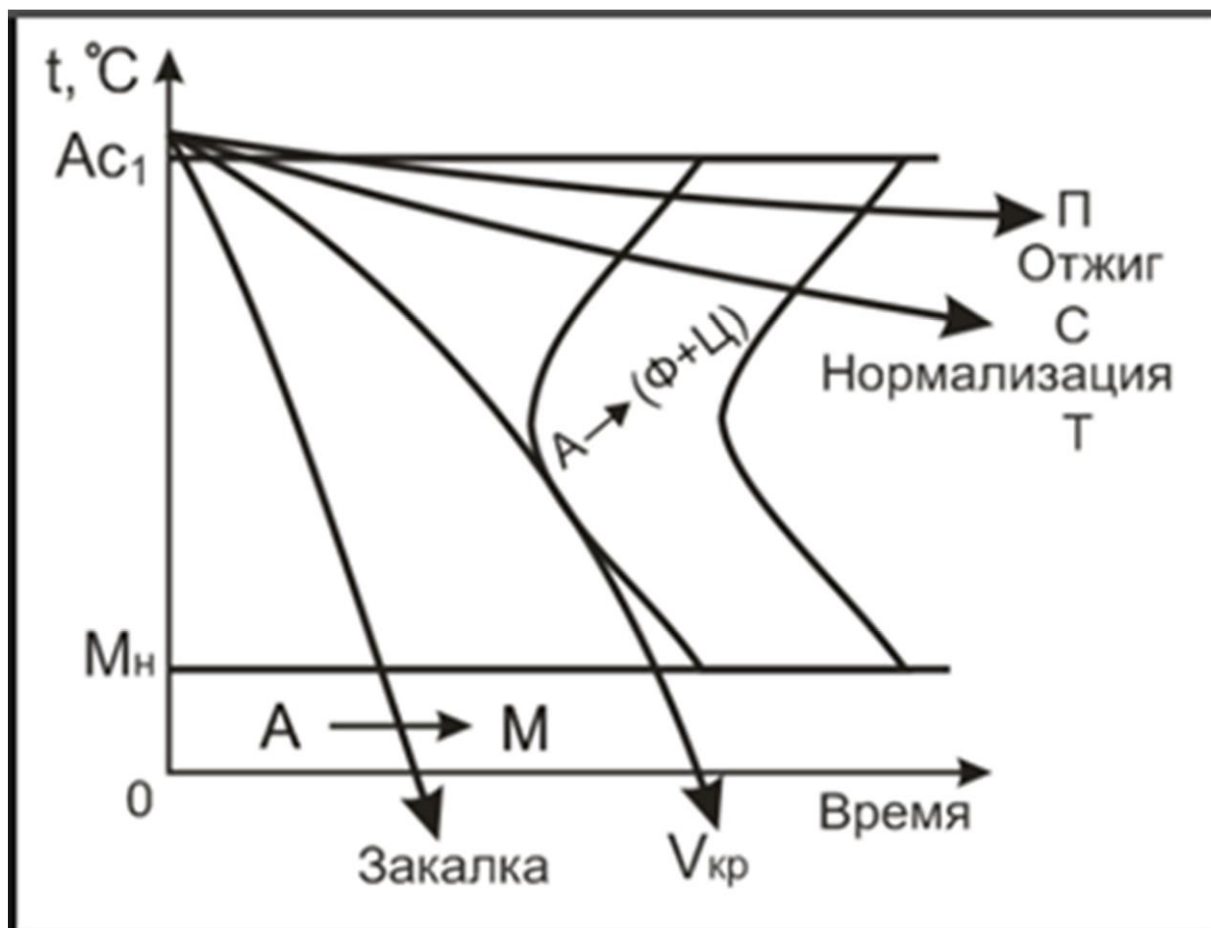


Рисунок 2 – Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита стали 30ХМЛ

A_{c1} – температура начала превращения перлита в аустенит при нагреве;

A_{c3} – температура окончания превращения феррита в аустенит при нагреве;

A_{r3} – температура начала выделения феррита из аустенита при охлаждении;

A_{r1} – температура превращения аустенита в перлит при охлаждении.

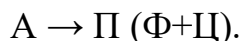
Если сталь со структурой аустенита, полученной в результате нагрева до температуры выше A_{c3} , переохладить до температуры ниже A_{r1} , аустенит оказывается в метастабильном состоянии и претерпевает превращение.

Для описания кинетики превращения переохлажденного аустенита пользуются диаграммами изотермического (при постоянной температуре) превращения: время-температура- степень распада, показанными на рисунке 2.

Диаграмма распада переохлажденного аустенита выглядит в виде С-образных кривых. Одна кривая характеризует начало распада переохлажденного аустенита,

другая характеризует полный распад аустенита. В верхнем интервале температур сначала выделяется избыточная фаза – феррит. Начало выделения избыточного феррита отмечается дополнительной кривой. В зависимости от степени переохлаждения аустенита различают две основные температурные зоны: перлитное и мартенситное превращение.

При медленном охлаждении переохлажденный аустенит претерпевает только перлитное превращение при температурах $A_{r1} - 500$ °С:



Мартенситное превращение происходит только в том случае, если быстрым охлаждением аустенит переохлажден до низких температур, при которых невозможны диффузионные процессы.

Наиболее сильно увеличивают прокаливаемость хром и марганец, которые сильно сдвигают вправо на диаграмме изотермического распада линии начала перлитного превращения. Это уменьшает критическую скорость закалки, что способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении.

Преимуществом марки 30ХМЛ перед углеродистой сталью также является то, что в изделиях после упрочняющей термической обработки они имеют более мелкое зерно и дисперсные структуры, что приводит к увеличению прочности и твердости металла.

Цель введения легирующих элементов (хрома и молибдена) оправдана и заключается в увеличении прочности и твердости металла, которая напрямую связана с дисперсностью структуры. Хром, молибден сильно измельчают зерно. Избыточные карбиды, не растворенные в аустените, препятствуют росту аустенитного зерна. Поэтому сталь при наличии хотя бы небольшого количества нерастворимых карбидов сохраняет мелкозернистую структуру до весьма высоких температур.

Молибден при содержании до 0,5 % увеличивает пластичность металла.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

3 Технология и оборудование для получения заготовки

3.1 Выбор оборудования плавильного отделения

Формирование свойств любых отливок начинается уже на стадии приготовления качественного жидкого расплава. Поэтому необходимо уделять большое внимание выбору плавильных агрегатов и процессов, позволяющих получать расплав необходимого состава и требуемых свойств. Сплавы на основе железа и углерода наиболее часто применяются для производства отливок. Чтобы получить эти сплавы в жидком состоянии, применяют следующие типы плавильных агрегатов: доменные и мартеновские печи, электрические печи, вагранки. Общими для плавки стали и чугуна являются мартеновские и электрические печи. Наиболее распространенными плавильными агрегатами при производстве отливок из стали можно считать электродуговые печи [3].

Использование электрических печей позволяет:

- получать металл высокого качества;
- достигать нужную температуру перегрева;
- применять дешевую шихту;
- осуществлять рафинирование от серы и фосфора в печах с основной футеровкой, что особенно важно при получении высококачественных сплавов.

Электродуговая печь может работать в умеренно-холодном климате в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха от – 10 до 40°C;
- влажность окружающего воздуха при температуре 20°C не более 80%;
- атмосферное давление 84,0 – 106,7 кПа (630 - 800 мм рт.ст.);
- окружающая среда взрывобезопасная; содержание агрессивных газов, паров и токопроводящей пыли в концентрациях, не превышающих предельно допустимые, кроме системы автоматического управления, пультов и шкафов

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

управления механизмами электропечи, условия эксплуатации которых оговариваются в технической документации.

К установке в цехе принимаем дуговую сталеплавильную печь фирмы Danieli (Италия) емкостью 3 т.

Техническая характеристика печи:

- мощность по трансформатору, кВА; 2500;
- номинальная емкость, т; 3;
- температура перегрева металла, °С; 1700;
- частота тока, Гц. 50;
- расход электроэнергии, кВт·ч/т 700;
- диаметр электрода, мм 300.

Эскиз плавильной печи приведен на рисунке 3.

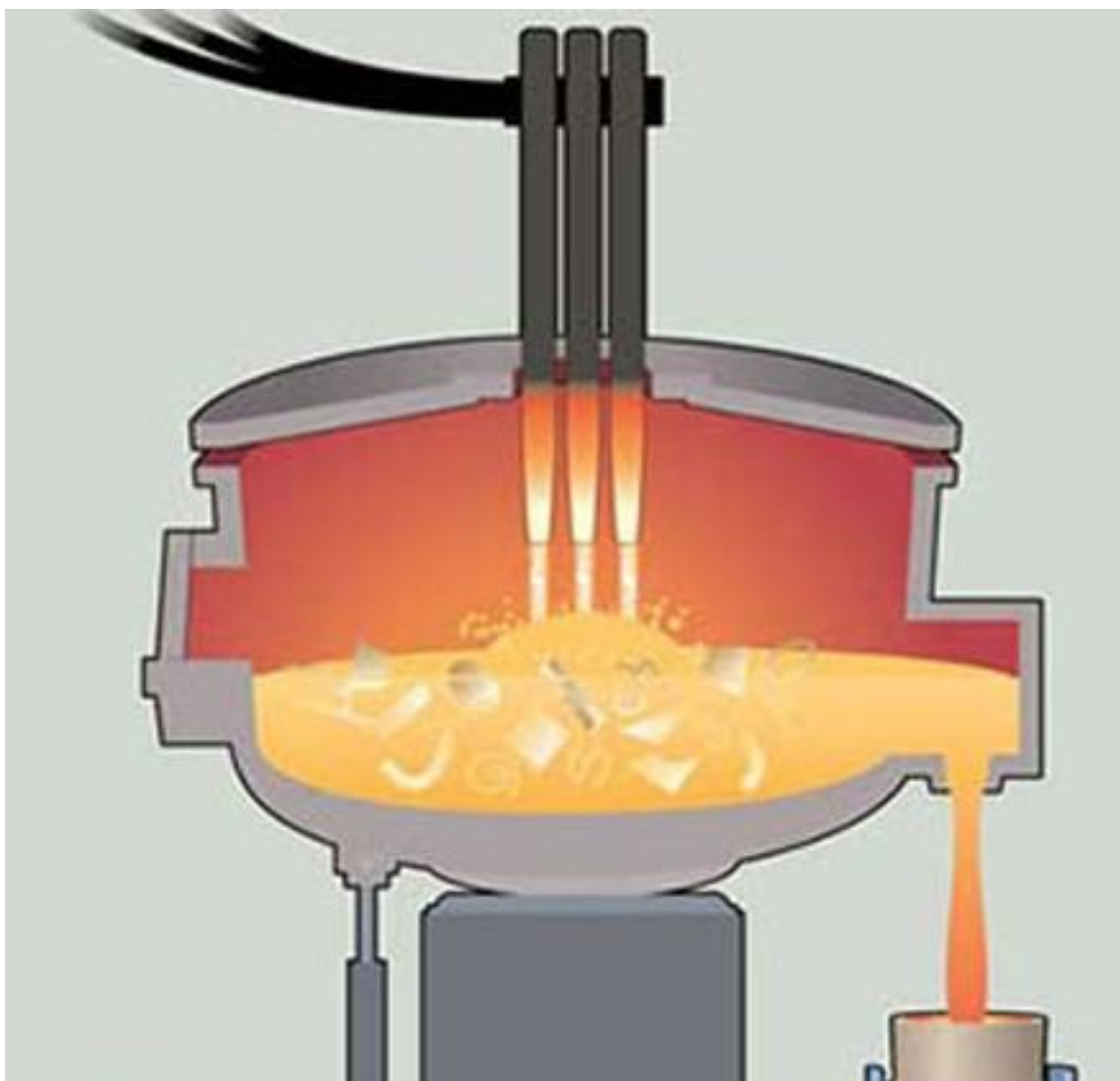


Рисунок 3 – Эскиз плавильной печи

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

лист

16

Для транспортировки жидкого металла к фомовочной линии и заливки в цехе применяется стопорный ковш, состоящий из стального кожуха, стенки и дно которого изнутри выложены огнеупорным материалом. Толщина слоя футеровки 100 мм. В стопорном ковше необходимо обращать особое внимание на футеровку стопорного устройства: штанги с пробкой и втулки. Для футеровки используют набивную смесь из 60-70 % кварцевого песка и 30 - 40 % огнеупорной глины. Для ремонта ковшей применяют специальный смеситель огнеупорной массы.

В цехе ковши подогреваются перед каждой плавкой до температуры 600 – 700 °С. Ремонт ковшей производится на участке ремонта ковшей после выхода его из строя. Сушка ковшей осуществляется после каждого ремонта перед плавкой на специальном стенде при температуре 800 – 900 °С [4].

Общий вид ковша показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Общий вид ковша

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

Лист
17

3.2 Формовочно-заливочно-выбивное отделение

Формовочно-заливочно-выбивное отделение является основным в составе любого литейного цеха, так как на нем замыкается работа целого ряда основных отделений цеха – плавильного, стержневого, смесеприготовительного, а также ряда вспомогательных. Оно обеспечивает отливками финишное отделение цеха – термообрубное.

Состав формовочно-заливочно-выбивного отделения.

- формовочные участки, формовка верхних и нижних полуформ;
- участок простановки стержней;
- заливочный участок;
- участок охлаждения отливок;
- участок выбивки;
- склад модельно-опочной оснастки;
- лаборатории: химическая и испытания формовочных материалов.

Выбор технологического процесса для конкретного отделения тесно связан с общими и специальными требованиями, которые предъявляются к готовым отливкам по геометрической точности, эксплуатационной надежности и шероховатости поверхности, герметичности, коррозионной стойкости и др. В настоящее время имеется большое разнообразие технологических процессов изготовления литейных форм. В проектируемом цехе применяем линию вакуумно-пленочной формовки для получения высококачественных стальных отливок (V-процесс).

Важнейшей характеристикой данной технологии является использование сухого кварцевого песка без связующего, а также тонкой пластичной пленки при давлении вакуума от 0,3 до 0,6 бар.

Отливки, полученные по V-процессу, характеризуются, прежде всего,

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

высоким качеством поверхности и превосходной размерной точностью. При определенных условиях возможен также отказ от обычно необходимого уклона на модели. В отдельных, частных случаях это может устранить необходимость трудоемкой обработки. Дальнейшие преимущества данного процесса:

- отсутствие износа модели;
- возможность изготовления тонкостенных отливок;
- минимальное количество заусенцев, либо полное их отсутствие на отливке;
- низкие затраты на зачистку;
- экологически чистая технология, не требующая особых физических усилий.

Описание V-процесса: На закрытую камеру, из которой впоследствии удаляется воздух (пустотелый корпус подмодельной плиты), устанавливается модель. Над натянутой на раму термопластичной пленкой (модельной пленкой) находится нагревательное устройство.

Подогретая и поэтому пластичная пленка опускается на модель. В подмодельной плите устанавливается вакуум в 0,5-0,6 бар; пленка натягивается на модель, в точности повторяя ее контуры. После этого на пленку наносится краска. Двустенная, оснащенная вакуумными трубами и всасывающими окнами (с внутренней стороны) опока опускается на модельную оснастку.

Опока наполняется обычным сухим песком без связующего. Контрлад полуформы покрывается вакуумной пленкой. Затем песок уплотняется между двумя слоями пленки посредством вакуума.

После отключения вакуума в подмодельной плите часть формы, с обеих сторон „закрытая“ пленкой и далее удерживаемая вакуумом, снимается с модельной оснастки. Принципиальная схема вакуумно-пленочной формовки приведена на рисунках 3 и 4.

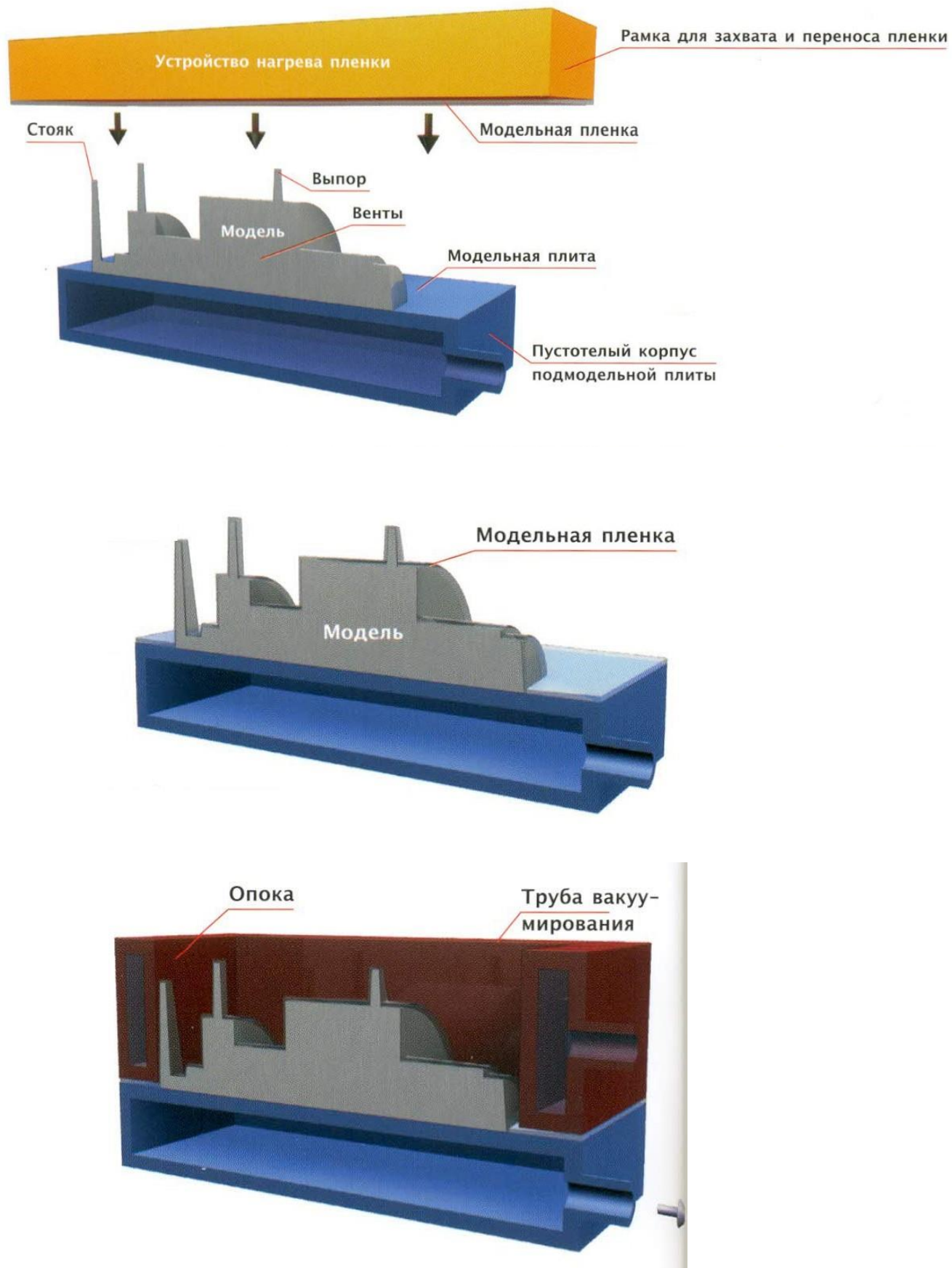


Рисунок 5 – Принципиальная схема вакуумно-пленочной формовки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

Лист
20

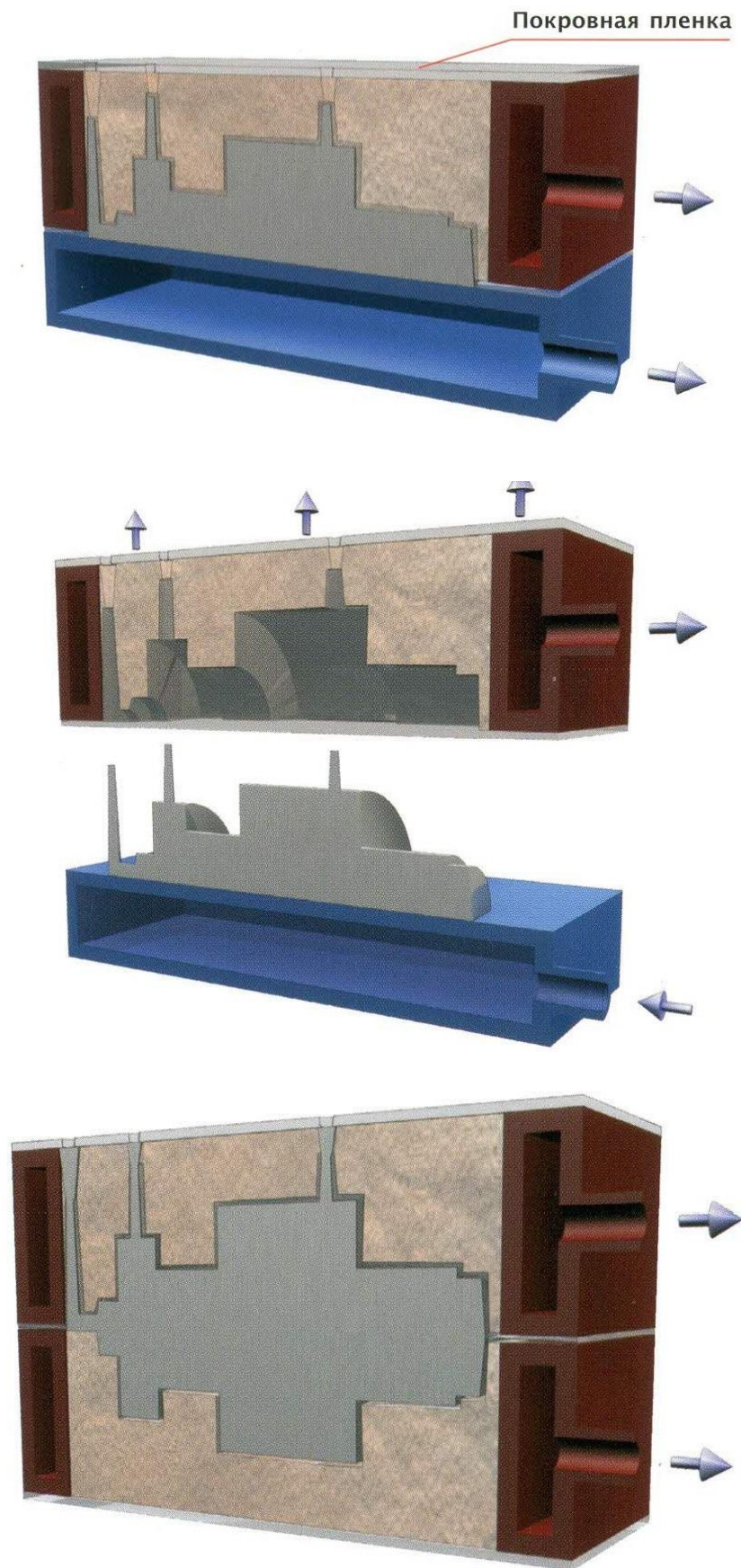


Рисунок 6 – Принципиальная схема вакуумно-пленочной формовки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

Лист
21

Нижняя полуформа изготавливается и поворачивается аналогичным образом. Проставляются необходимые стержни; обе части формы собираются в готовую форму. Пониженное давление поддерживается в процессе заливки и на начальном этапе затвердевания жидкого металла.

При заливке пленка испаряется, либо сгорает под влиянием заливаемого металла. Под воздействием вакуума остатки пленки проникают в краску формы и вместе с частицами песка образуют тонкую оболочку, которая упрочняет поверхностный слой формы. Далее этот процесс поддерживается наносимым слоем краски.

Для выбивки опоки вакуум отключается, песок «самотёком» высыпается, отливка освобождается для дальнейшей транспортировки

Техническая характеристика линии типа HWS [5]:

- размеры опок, мм
в свету 2500×2500;
высота минимальная 200;
высота максимальная 600;
- цикловая производительность, форм / ч 10;
- потребляемая мощность, кВт 22.

Планировка формовочной линии показана на рисунке 7.

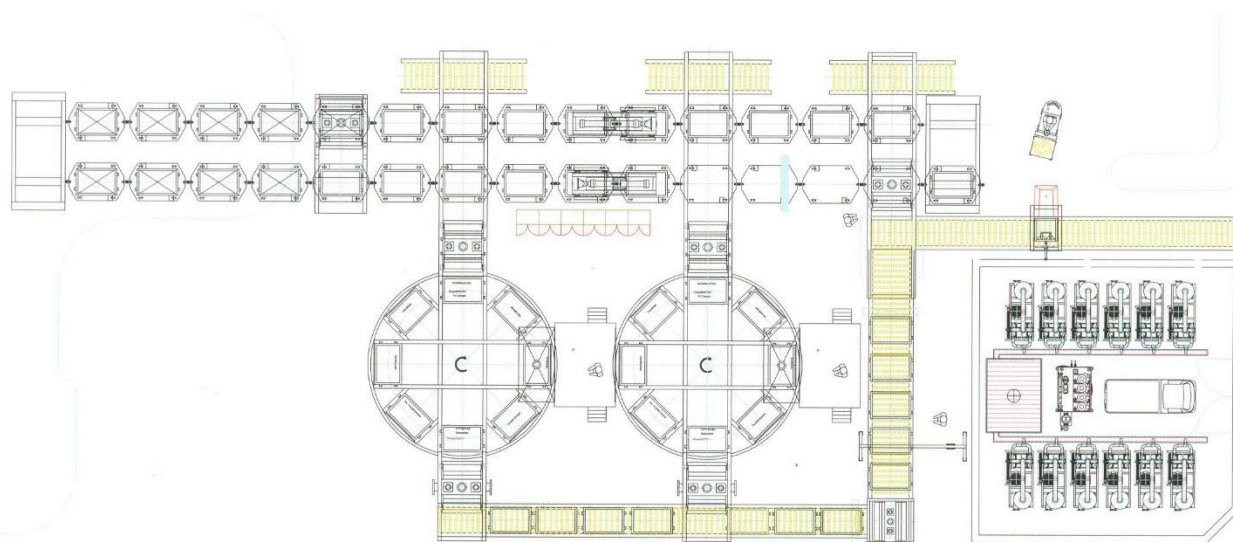


Рисунок 7 – Линия формовочная

3.3 Обрубное отделение

Отливки, не имеющие явных дефектов, подвергаются дальнейшей очистке от формовочной смеси, пригара.

Процесс обрубки заключается в отделении от отливки прибылей, литников, выпоров, в удалении облоев (залитов) по месту разъема полуформ или в области стержневых знаков. Прибыли и выпоры от стальных отливок отрезают с помощью ленточных пил. Для удаления остатков питателей, прибылей, залитов, заусенцев, перекосов и неровностей применяют зачистные автоматы.

Для очистки отливок в условиях массового производства целесообразно использование проходных дробеметных камер непрерывного действия.

Дробеметная установка серии GSA фирмы COGEIM оборудована однорельсовым подвесным конвейером, с помощью которого изделия подаются в рабочую камеру (рисунок 8).



Рисунок 8 – Дробеметная установка серии GSA фирмы COGEIM

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

Процесс дробемётной обработки осуществляется в изолированной рабочей камере, оснащённой соответствующим количеством турбин. Размещение турбин обеспечивает их максимальную производительность. Дробемётная обработка производится автоматически на двух разных рабочих позициях. Система автоматического вращения крюка гарантирует тщательную и равномерную очистку деталей.

Преимущества дробеметной установки серии GSA фирмы COGEIM:

- возможность дробемётной обработки большого количества изделий в течение короткого промежутка времени;
- лёгкость обслуживания;
- высокая производительность;
- конструкция без фундамента.

Технические характеристики дробеметной установки проходного типа серии GSA фирмы COGEIM:

- грузоподъемность подвески – 4000 кг;
- расход дроби – 500 кг/мин;
- высота – 8600 мм;
- ширина – 5600 мм;
- длина – 8800 мм;
- производительность – 2,8 т/ч;
- габаритные размеры – 7600×4500×4500.

Для отделения прибылей и выпоров применяется ленточнопильный станок ARG 330 Plus S.A.F. фирмы PILOUS.

Ленточнопильный станок ARG 330 Plus S.A.F. фирмы PILOUS относится к классу маятниковых станков с консольным креплением пильной рамы и укомплектован универсальным поворотным столом благодаря чему угол реза заготовок составляет от -45° до $+60^{\circ}$ С. Станок оснащен гидростанцией. Наличие гидростанции позволяет максимально автоматизировать рабочий процесс (зажим заготовок в тисках, запуск пилы, подъем и опускание рамы), а также создать необходимое усилие резания, благодаря чему существенно увеличивается

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

производительность работы станка.

Станок ARG 330 S.A.F. (рисунок 9) является эталонным станком по своим мощностным характеристикам: параметры используемого полотна 34x1,1 мм, мощность 3,7 кВт, максимальные габариты обрабатываемых заготовок, качество, новаторство в дизайне, эргономичность системы управления, вплоть до разработки станины станка (продуманно удобство циркуляции СОЖ, работы с крупными заготовками), вес станка и общие габариты [6].



Рисунок 9 – Ленточнопильный станок ARG 330 Plus S.A.F. фирмы PILOUS
Характеристики ARG 330 Plus S.A.F. представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики ARG 330 Plus S.A.F

Модель	Макс. Ø пиления, мм	Макс. прямоуг. пиления, мм	Скорость ленточной пилы, м/мин	Эл. мощность, кВт	Размер ленточной пилы, мм	Вес, кг
ARG 330 Plus SAF	330	395x320	15-90	3,70	3870x34x1,1	880

Для удаления заусенцев на отливках применяются зачистные станки JDC-250 фирмы JET. Характеристики зачистных станков JDC-250 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики зачистных станков JDC-250

Модель	JDC-250
Артикул 400 В	50000311Т
Максимальный размер детали	Ø 1000, 1000x1000 мм
Скорость вращения щетки, 2	1400/2800 об/мин
Размер щетки	250x45 мм
Посадочный диаметр	50 мм
Мощность двигателя	1,1 кВт/S1 100%
Габаритные размеры (ДxШxВ)	450x500x1300 мм
Масса	80 кг

Общий вид зачистного станка JDC-250 представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Зачистной станок JDC-250

4 Выбор режима термообработки

4.1 Предварительная термообработка заготовок

Отливки подвергаются предварительной термообработке – отжигу, для устранения грубой литейной структуры, для снижения остаточных напряжений крупных отливок, для снижения твердости и повышения обрабатываемости, для выравнивания грубой литейной структуры, так называемого «видманштетта», показанного на рисунке 11 – подготовки для проведения окончательной термообработки.

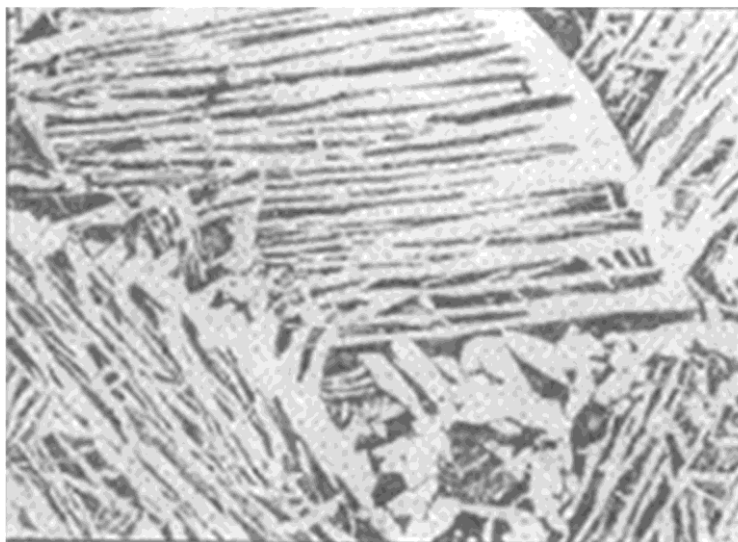


Рисунок 11 – Структура отливки

Для проведения термообработки с изменением структурных составляющих, необходимо произвести нагрев стали в аустенитную зону. Температура отжига выбирается согласно таблице 3 и рассчитывается: $A_{с3} + 30...50$ °С. Температура отжига – 830...850 °С.

Легирующие элементы повышают устойчивость переохлажденного аустенита и замедляют его распад в области первой ступени при проведении полного отжига, требуя применения невысоких скоростей охлаждения. При отжиге легированных сталей скорость охлаждения назначают 50...100 °С/ч. Медленное охлаждение при отжиге следует вести только в области первой ступени распада переохлажденного аустенита. Температура, до которой надо вести медленное охлаждение может

принята 550...500°C. Медленное охлаждение обеспечивается охлаждением в печи до температуры 500°C со скоростью не превышающей 80 °C/ч [7].

При медленном охлаждении металла ниже указанных температур происходит выделение из аустенита сначала феррита, затем перлита. Из этого следует, что структура стали 30ХМЛ при медленном охлаждении после нагрева – это перлит и феррит, показанная на рисунке 12.



Рисунок 12 – Структура отожженной стали

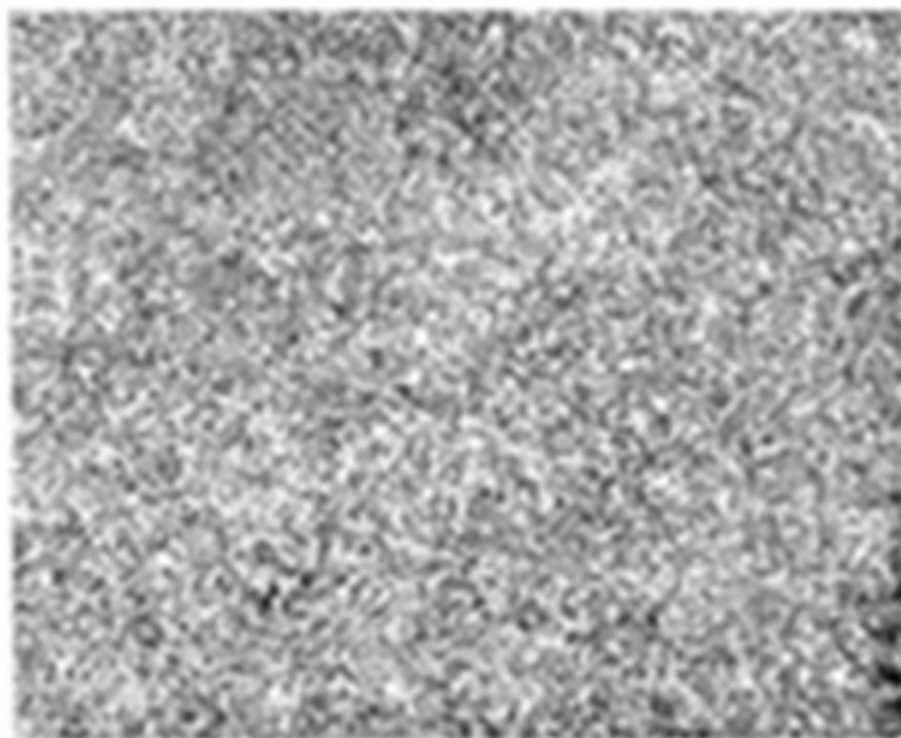
После проведения отжига производится контроль ОТК на качество проведения термообработки: выборочный контроль твердости. Твердость по Бринеллю должна быть 180...220 НВ.

4.2 Окончательная термообработка

4.2.1 Улучшение

Сталь 30ХМЛ – это улучшаемая сталь, которая для обеспечения требуемых свойств подвергается объемной закалке и высокому отпуску. Температура закалки выбирается согласно таблице 3 и рассчитывается: $A_{c3} + 30...50$ °C. Температура

закалки – 830...850 °С. После проведения закалки необходимо проведение отпуска в течение последующих двух часов. Температура отпуска. – 570...590°С После такой термообработки структура стали – сорбит, показанной на рисунке 13. После улучшения стали имеют высокий предел текучести, достаточный запас ударной вязкости.



Фиг. 109. Сорбит (× 375).

Рисунок 13 – Структура стали после улучшения

4.2.2 Поверхностная термообработка

Для обеспечения высокой твердости на поверхности зубьев деталь подвергается поверхностному упрочнению – закалке и низкому отпуску. Температура закалки – 850...870 °С. Температура отпуска. – 180...220 °С. Такая термообработка обеспечивает повышенное сопротивление износу, статическим, динамическим и циклическим нагрузкам [8].

Закалка токами высокой частоты (ТВЧ) является поверхностной закалкой и применяется на деталях, у которых необходимо иметь мягкую сердцевину и

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

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

лист
29

твердую износостойкую поверхность. После закалки ТВЧ все детали подвергаются низкому отпуску. Получаемый результат: твердость HRC 40...45 на глубине закаленного слоя $h=3-4$ мм (чертеж детали).

Поверхностная закалка при индукционном нагреве по сравнению с химико-термической обработкой (ХТО) менее трудоемка и во многих случаях по качеству деталей не уступает деталям после ХТО. Поверхностная закалка токами высокой частоты имеет недостаток, связанный с тем, что для каждой детали изготавливается своя конструкция индуктора и охлаждающего устройства. Но для серийного производства это вполне оправдано.

Нагрев ТВЧ основан на законе электромагнитной индукции. Если в замкнутое переменное магнитное поле поместить металлическую деталь, то в детали возникают токи, дающие тепло. Наибольшая плотность тока и нагрев детали при достаточно высоких частотах получается на поверхности детали. Чем больше частота тока, тем меньше по толщине нагреваемый слой.

Детали на закалку ТВЧ отправляют после чистовой механической обработки с припуском под шлифовку на поверхностях, подлежащих закалке ТВЧ. Детали, подвергаемые закалке ТВЧ не должны иметь острых углов и резких переходов на закаливаемых участках [9].

4.3 Преимущества и недостатки эксплуатации электрических печей сопротивления и топливных газовых печей

При сравнении топливных и электрических печей преимуществами электрических печей сопротивления являются:

- возможность концентрирования значительного количества энергии в весьма малых объемах и получение благодаря этому очень высоких скоростей нагрева и любых требуемых температур;

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

- простота регулирования подводимой мощности, а следовательно, и температуры, легкость автоматизации регулирования температурного режима печи;
- возможность обеспечения высокой равномерности нагрева изделий путем соответствующего размещения источников выделения теплоты по стенам нагревательной камеры (нагревателей);
 - отсутствие продуктов сгорания;
 - удобство механизации и автоматизации процессов загрузки и выгрузки нагреваемых изделий;
- хорошая герметизация рабочего пространства, которая позволяет получать на нагреваемых изделиях минимальную окалину (окисленный слой на поверхности), а также дает возможность использования защитных газов и специальных атмосфер;
- компактность, чистота, удобство обслуживания, улучшение условий труда, меньшего, по сравнению с топливными печами, загрязнения окружающей среды.

Электрические печи наряду с преимуществами имеют ряд недостатков:

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

4.4 Выбор оборудования для проведения предварительной термообработки

Учитывая все преимущества и недостатки топливных и электрических печей сопротивления для проведения отжига выбираем электрическую камерную печь периодического действия СДО 20.40.15/10 с выдвижным подом. Это

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

универсальная печь для проведения различных видов термообработки заготовок: отжига, нормализации и высокого отпуска.

Так как вес нашей заготовки – 1500 кг мы выбираем камерную печь с выдвижным подом, которую используют для термообработки тяжелых заготовок и деталей. Для загрузки и выгрузки садки под (футерованная тележка) выдвигается из печи.

Температура, при которой необходимо производить отжиг – 850...870 °С.

Для обеспечения нагрева до этой температуры выбираем печь с максимальной температурой нагрева – 1000 °С.

Размеры рабочего пространства (Ш x Д x В) – 2000 x 4000 x 1500 мм. При проведении отжига данные размеры позволяют проводить одновременно термообработку 2 заготовок (отливок) колеса зубчатого. Схема укладки приведена на рисунке 14.

Данную печь мы также используем при проведении нагрева под закалку и более подробно данная печь описана в п. 7. Производительность печи при проведении отжига составляет 35-50 Кг/ч [10].

4.5 Выбор оборудования для проведения окончательной термообработки

4.5.1 Выбор оборудования для объемной термообработки

При массовом производстве стремятся создать поточность обработки, соединяя в один поток ряд печей и аппаратов. Типовая поточная линия для закалки и отпуска состоит из закалочной печи, закалочного бака, моечной машины и отпускной печи. Для проведения объемной закалки рядом с закалочной печью располагают закалочный бак, наполненный охлаждающей жидкостью, в нашем случае маслом. После погружения деталей в масло необходимо отмыть остатки масла с поверхности деталей, поэтому рядом с закалочным баком должна быть расположена моечная машина. После промывки деталей необходимо произвести отпуск.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

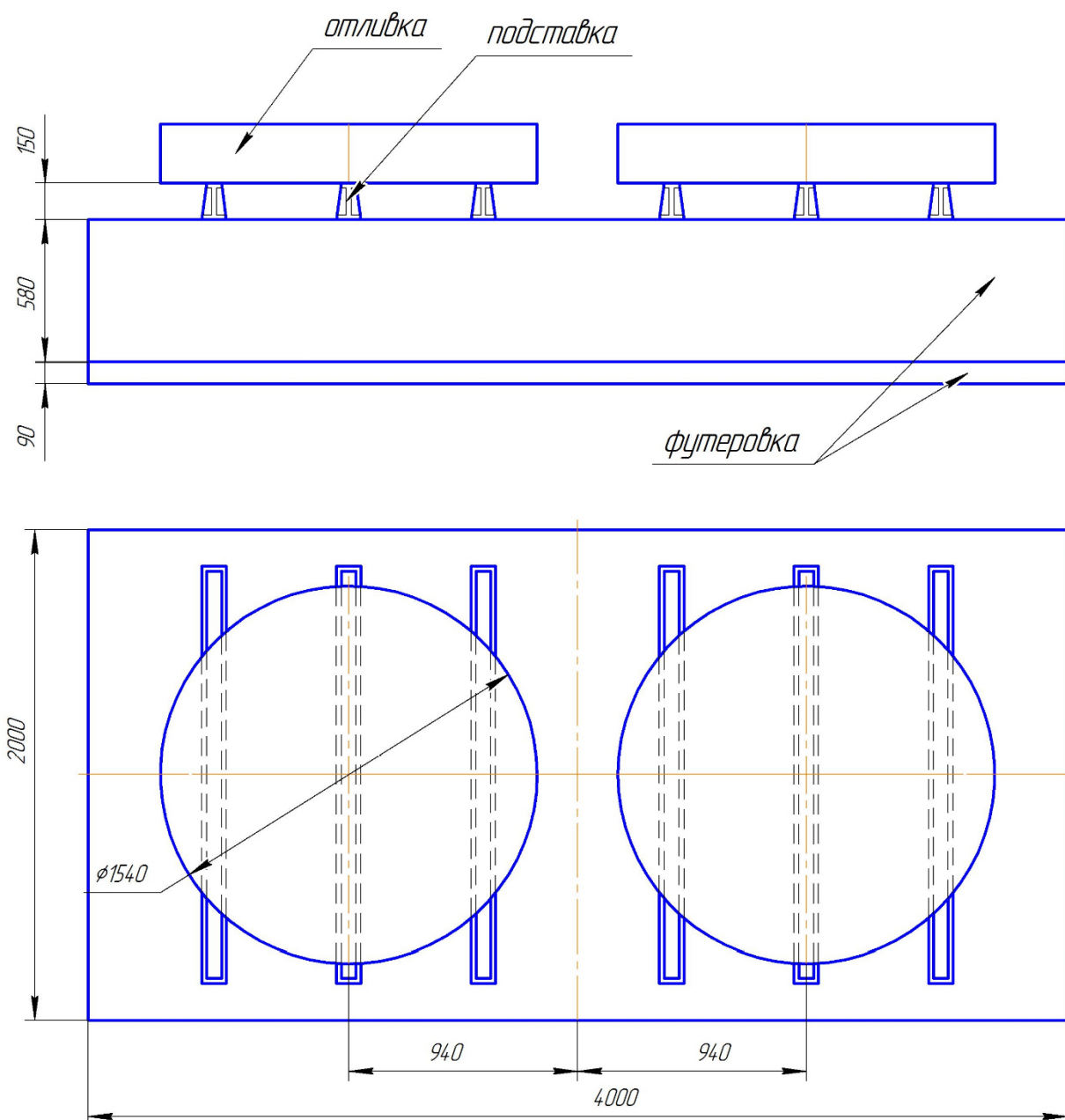


Рисунок 14 – Схема укладки отливок

4.5.2 Выбор оборудования для проведения нагрева под закалку

Для проведения нагрева под закалку зубчатых колес выбираем также электрическую камерную печь периодического действия СДО 20.40.15/10 с выдвижным подом. Температура, при которой необходимо производить закалку – 850...870 °С. Для обеспечения нагрева до этой температуры выбираем печь с максимальной температурой нагрева – 1000 °С.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

ЛИСТ
33

Размеры рабочего пространства (Ш x Д x В) – 2000 x 4000 x 1500 мм. При закалке данные размеры позволяют проводить одновременно термообработку 2 детали (Схема укладки – рисунок 14). Более подробно данная печь описана в п.5.

4.5.3 Выбор оборудования для охлаждения

Закалочные баки изготавливают немеханизированные и механизированные со следующей индексацией:

101 – немеханизированные;

201 – механизированные с электроприводом и корзиной;

212 – механизированные с электроприводом и опрокидываемым лотком;

221 – механизированные с пневмоприводом и корзиной;

222 – механизированные с пневмоприводом и опрокидываемым лотком;

223 – механизированные с пневмоприводом и столом.

Выбираем закалочный бак индексации 201.

Бак снабжен устройством для принудительного перемешивания масла, а также сеткой для сбора и удаления окалины.

Масляные баки оснащают средствами пожаротушения и защитными крышками для предотвращения воспламенения.

4.5.4 Выбор оборудования для проведения отпуска после закалки

Для проведения отпуска зубчатых колес после закалки выбираем электрическую камерную печь периодического действия СНО -20.40.15 / 7 с выдвижным подом [11].

Температура, при которой необходимо производить отпуск – 570...590°C. Для обеспечения нагрева до этой температуры выбираем печь с максимальной температурой нагрева – 700 °С.

Размеры рабочего пространства (Ш x Д x В) – 2000 x 4000 x 1500 мм. Данные размеры позволяют проводить одновременно термообработку 6шт. деталей при проведении отпуска. Схема укладки для отпуска приведена на рисунке 15.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		34

4.6 Выбор оборудования для поверхностной термообработки

4.6.1 Выбор установки для термообработки токами высокой частоты

Высокочастотная установка состоит из генератора, индуктирующего токи высокой частоты, конденсаторной батареи, распределительного устройства, сигнальных блокирующих устройств, индуктора и приспособления закали, электроприборов. Для питания индукционной нагревательной установки применяют машинный генератор. Цилиндрический индуктор представляет собой катушку, изготовленную из медной профилированной трубки диаметром 6-8 мм. В индуктор помещают деталь для нагрева поверхности зубьев.

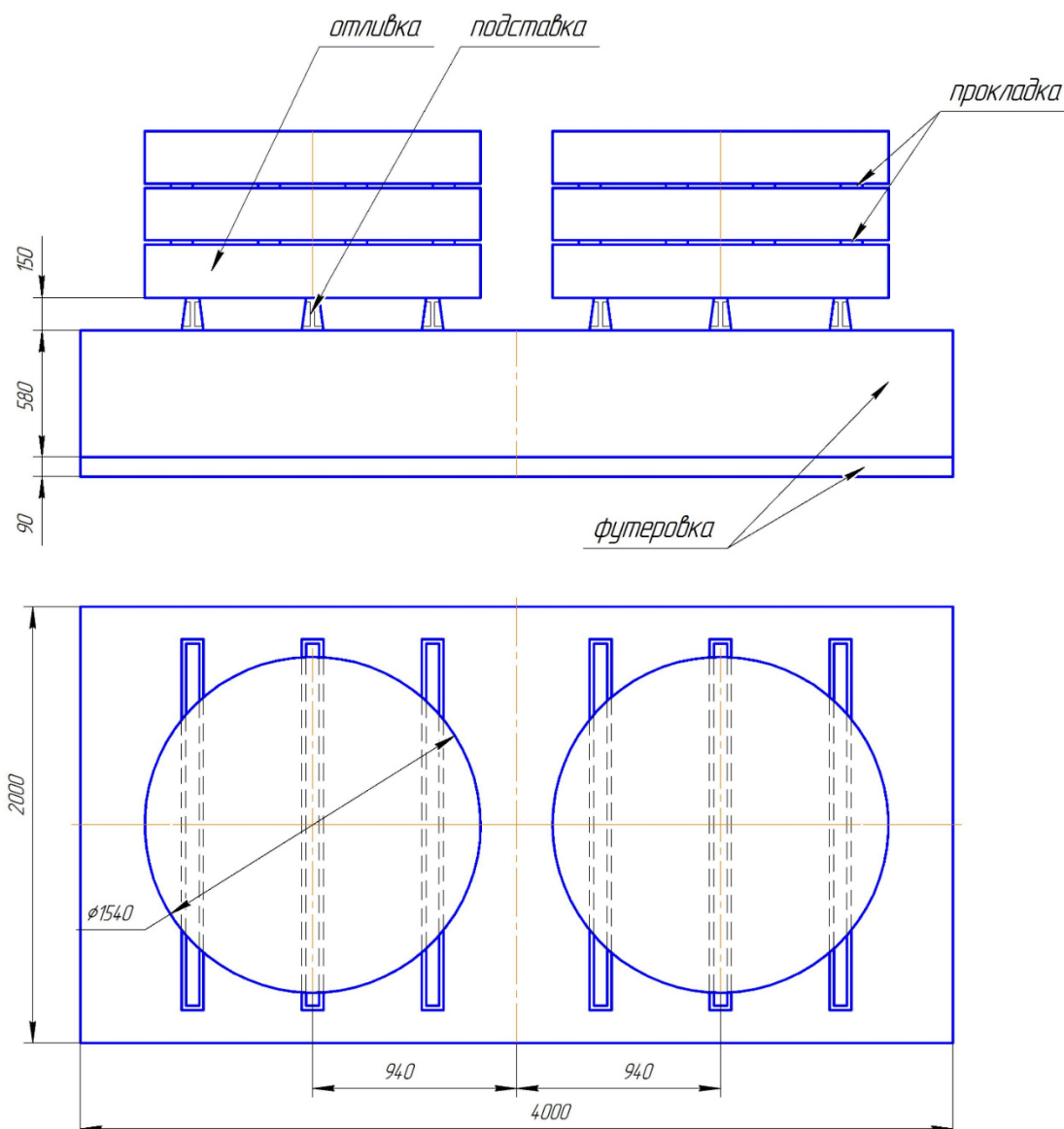


Рисунок 15 – Схема укладки деталей для отпуска

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

ЛИСТ

35

Для глубины закаленного слоя 3 – 4 мм оптимальная частота для индукционного нагрева под закалку – 4 000...7 000 Гц. Для питания индукционной нагревательной установки применяют машинный генератор ПВ-100-8000 с характеристиками, указанными в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика машинного генератора повышенной частоты.

Наименование	Тип	Мощность, КВт	Частота, Гц	Напряжение, В	Число оборотов, об/мин	КПД, %
Генератор	ПВ-100-8000	110	8000	375-750	1500	63

Охлаждающую жидкость для закалки подают через душевое устройство (спрейер).

4.6.2 Выбор оборудования для проведения отпуска после закалки токами высокой частоты

Для проведения отпуска зубчатых колес после закалки поверхности зубьев токами высокой частоты выбираем электрическую камерную печь периодического действия СНО -20.40.15 / 3 с выдвижным подом.

Температура, при которой необходимо производить отпуск – 180...220°C. Для обеспечения нагрева до этой температуры выбираем печь с максимальной температурой нагрева – 300 °С.

Размеры рабочего пространства (Ш х Д х В) – 2000 х 4000 х 1500 мм. Данные размеры позволяют проводить одновременно термообработку 6 деталей при проведении отпуска.

5 Печи СДО 20.40.15/10

Печь СДО 20.40.15/10 – это термическая электрическая печь сопротивления, камерная, периодического действия с выдвижным подом.

Данная печь является электрической печью с теплогенерацией путем превращения электроэнергии в тепло. Эта электрическая печь является печью сопротивления, в которой для получения тепла за счет электроэнергии, используется основной принцип: теплогенерация в проводнике при приложении к нему разности потенциалов, т.е. возникает электрический ток и при его протекании по проводнику, имеющему сопротивление, выделяется тепло.

Печь СДО 20.40.15/10 – это печь косвенного нагрева, в качестве проводника используются нагревательные элементы, выполненные из специальных материалов (в печах прямого действия проводником служит само нагреваемое изделие). Передача тепла от этих элементов к нагреваемому изделию осуществляется излучением и конвекцией.

По характеру работы является печью периодического действия. Это печь является садочной: садку (термообрабатываемые изделия) загружают на подвижный под печи и изделия в печи нагреваются в неподвижном состоянии.

Камерная печь имеет камеру нагрева, загрузка и выгрузка садки производится в горизонтальной плоскости через торцевой проем вручную или грузоподъемными механизмами.

Диапазон рабочих температур печи – от 500 до 1000 °С. Это среднетемпературная печь, в которой нагревательные элементы равномерно размещают на стенках печи. Данная печь работает при заполнении рабочей камеры окислительной средой. Окислительная среда - это атмосферный воздух

Техническая характеристика печи СДО 20.40.15/10 дана в таблице 7.

Корпус печи и дверь изготовлены из стальных профилей и покрыты листовым металлом. Металлические части (обод передней плиты печи, обод двери,), подвергающиеся воздействию высоких температур, изготовлены из жаропрочной стали. Металлический каркас окрашен жаростойкой краской.

Закрытие и уплотнение двери на переднюю плиту печи предусматривается с помощью направляющих на дверной коробке и колес на двери. Дверь прижимается к фронту передней плиты собственным весом. Дверь повешена на двух цепях.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

Таблица 7 – Техническая характеристика печи

Наименование	Единица измерения	Величина
Рабочая температура	°С	500-900
Максимальная температура нагревателя	°С	1000
Масса с футеровкой	т	14,0
Максимальный вес садки	т	20,0
Энергоноситель для нагрева	-	Электрический ток
Количество регулируемых зон	-	1
Атмосфера	-	Воздух
Число фаз	-	3
Производительность	кг/ч	
Размеры рабочего пространства (ширина x длина x высота)	мм	2000 x 4000 x 1500
Время разогрева холодной печи	ч	10
Габаритные размеры (ширина x длина x высота)	мм	3400 x 9000 x 4500
Напряжение питающей сети	В	380
Подъем дверки		Электрический привод
Скорость нагрева	° С/ч	60-150
Равномерность распределения температуры в температурном интервале от 700 до 1200 °С при выходе на выдержку	° С	± 15
Измерение температуры	-	Термопреобразователи типа Ni-Cr-Ni
Количество термопреобразователей (термопар)	шт.	2

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

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

ЛИСТ

38

Подъем и спуск двери предусматривается посредством электропривода. Крайние положения двери будут определены и защищены концевыми выключателями. Для уплотнения между выдвижным подом и печью предусмотрена уплотнительная рамка, которая механически поднимается и закрывает зазор между подом и печью.

Футеровка печи – многослойная. Внутреннее пространство печи, дверца изолированы футеровкой из шамотного, затем диатомитового кирпича. Подовые нагреватели перекрыты жароупорными плитами.

Нагрев печи производится с помощью металлических нагревателей. Металлические нагреватели выполнены в форме спирали из проволоки. Материал – нихромовый сплав Х27Н70ЮЗ. К нагревателям подводят электрический ток. Нагреватели размещены на боковых стенках и в поду печи.

Температура нагрева регулируется автоматически. Регулировка температуры – однозонная. Регулятор температуры (контроллер) регулирует включение и выключение нагревателей в печи с целью обеспечения заданной температуры нагрева. Автоматическое регулирование температуры производится от сигнала термоэлемента печи - хромель-алюмелевой термопары. Регулирование температуры в печи проводится автоматически системой электронного управления, снабженной самопишущим прибором [12].

Широкое распространение получили спиральные нагреватели на керамических трубках, изображенные на рисунке 16.



Рисунок 16 – Проволочный нагреватель, закрепленный на керамических трубках

Керамические трубки со спиральными нагревателями закрепляются на специальные подвески- гребешки. Материал подвесок – шамотно- кордиеритовая керамика, он способен выдерживать тепловые удары, что является важным параметром при эксплуатации печей в циклических режимах с резкими охлаждениями.

Корпус пода состоит из металлических профилей. К нижней стороне пода прикреплена рейка. Привод пода осуществляется с помощью шестерни и рейки. Под печи приводится в движение электромеханическим приводом. Крайние положения определяются и ограничиваются концевыми выключателями.

6 Способы очистки деталей после термообработки

При соприкосновении поверхностей деталей с окислительной атмосферой – воздухом в области повышенных температур происходит окисление и обезуглероживание изделий, причем толщина поврежденного слоя с течением времени и повышением температуры увеличивается.

Потери на окалину при термообработке в электрических печах составляет примерно 2-3 % металла. Окалину с поверхности изделий необходимо очищать.

До недавнего времени в термических цехах применяли очистку сухим кварцевым песком. Этот вид очистки ввиду опасности профессионального заболевания рабочих- пескоструйщиков селикозом запрещен.

Одним из самых простых и распространенных способов очистки является очистка металлическим песком или дробью.

При очистке металлическим песком или дробью образуется более шероховатая поверхность, чистота поверхности снижается. Наилучшие результаты очистки достигаются тогда, когда металлический песок или дробь изготовлены из того же материала, что и очищаемое изделие.

Для очистки металлических изделий наиболее часто применяют чугунный песок, получаемый путем размола чугунной дроби с последующим просеиванием.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Режим очистки для стальных отливок весом свыше 100 кг после предварительной термообработки:

- средний размер зерен песка – 2...2,5 мм;
- давление сжатого воздуха – 600 кПа.

Режим очистки для стальных изделий после окончательной термообработки весом свыше 100 кг после предварительной термообработки:

- средний размер зерен песка – 1,5...2,0 мм;
- давление сжатого воздуха – 600 кПа.

Изделия помещают в дробеструйную камеру, которая предназначена для удаления окалины. Очищаемые изделия находятся под струей песка, которая подается в камеру под давлением. Сопла, подающие металлический песок в камеру, изготавливаются из белого чугуна и имеют повышенную стойкость.

7 Возможные виды брака при проведении термообработки (улучшения) и меры его предупреждения.

При проведении термообработки известны следующие виды брака, указанные в таблице 8 и разработаны меры по его предупреждению

8 Контроль качества после термообработки

8.1 Испытание на твердость

Под твердостью понимают сопротивление испытываемого металла вдавливанию в него твердого металлического или алмазного наконечника. Испытания на твердость – самый распространенный способ определения механических свойств материала, дает косвенное представление о пределе прочности и текучести металла.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

Твердость характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла, отличающееся от других свойств металла способом измерения.

Таблица 8 – Виды брака после улучшения

№	Вид брака	Причина	Меры предупреждения
1	Наличие трещин на поверхности заготовок	Раскрытие внутренних трещин металла, резкое охлаждение заготовок при закалке	Повышение качества исходного металла Контроль за температурой масла
2	Наличие вмятин на поверхности заготовок	Неаккуратная выгрузка заготовок в горячем виде.	Аккуратная выгрузка заготовок в горячем виде.
3	Повышенная или пониженная твердость металла	Низкая или высокая температура закалки или отпуска	Соблюдение режима термообработки.
		Малая или большая выдержка при закалке или отпуске	
4	Пятнистая твердость металла	Малая выдержка при закалке или отпуске	Соблюдение режима термообработки.
5	Несоответствующая структура металла	Низкая или высокая температура закалки или отпуска	Соблюдение режима термообработки.
		Малая или большая выдержка при закалке или отпуске	

Преимущества измерения твердости перед испытаниями механических свойств на растяжение следующие:

- между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности) существует количественная зависимость;
- время, затрачиваемое на этот вид испытания, незначительно и составляет от 30 с до 3 мин;

- измерение твердости не влечет за собой разрушение испытываемой детали и является неразрушающим способом определения механических свойств металла;
- твердость можно измерять на деталях небольшой толщины.

Выбор формы, размеров наконечника и величины нагрузки зависит от целей испытания, структуры, состояния поверхности и размеров испытываемого образца.

Способ Бринелля заключается во вдавливании в металл стального шарика прибором типа ТШ. Измеряют диаметр отпечатка при помощи лупы, вмонтированной в трубку компаратора вместе с прозрачной шкалой. Для облегчения подсчета заранее составлены переводные таблицы, по которым диаметр отпечатка, измеренный в мм, переводится в значение твердости.

На приборах Бринелля применяются сменные шарики из закаленной стали диаметром 10; 5; 2,5 мм.

8.2 Металлографическое исследование

Для определения толщины закаленного слоя поверхности зубьев необходимо проведение микроскопического анализа. Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металла с помощью электронного микроскопа. Для микроанализа требуется изготовление микрошлифов, которые изготавливают из образцов – свидетелей, которые подвергают термообработке токами высокой частоты по заданному режиму.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

9 Расчет времени нагрева заготовки из стали 30ХМЛ

Проводится расчет времени нагрева заготовок диаметром 1550 мм и длиной 220 мм из стали 30ХМЛ [13].

При определении времени нагрева нужно определить, необходимо ли учитывать перепад температуры по сечению изделия, т.е. является изделие «тонким» или «массивным». Для этого рассчитывается критерий Био.

За условную границу между «тонкими» и «массивными» изделиями принимают такое сечение, для которого число Био равно 0,25. Если $Bi < 0,25$ расчеты выполняются по формулам для тонких изделий, если $Bi > 0,25$ - по методике, принятой для массивных изделий.

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

где α - суммарный коэффициент теплоотдачи, средний в интервале температур нагрева, Вт/ м² К;

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

S – расчетная прогреваемая толщина, м.

1) В соответствии с рекомендуемым режимом термической обработки и критическими температурами принимаем:

Температура нагрева металла под закалку:

$$T_{\text{нагр}} = A_{c3} + 30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 840 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура в печном пространстве должна быть несколько выше, чтобы обеспечить такой нагрев $T_{\text{печ}} = T_{\text{нагр}} + 50 \dots 100 \text{ } ^\circ\text{C} = 840 + 60 = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2) Учитывая сложность теплового процесса на поверхности нагреваемого изделия, коэффициент теплоотдачи считают сложной величиной, которая равна сумме коэффициентов теплоотдачи лучеиспусканием α_l и конвекцией α_k

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

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

Для электрических печей с температурой выше 700 °С коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_{\text{к}}$ приближенно может быть принят 10 Вт/ м² К.

3) Вычислим коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием:

$$\alpha_{\text{л}} = c_{\text{пр}} \cdot \frac{[(\frac{T_{\text{п}}}{100})^4 - (\frac{T_{\text{м}}}{100})^4]}{T_{\text{п}} - T_{\text{м}}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/ м² К;

$T_{\text{м}}$ – средняя за время нагрева температура металла, К;

$$T_{\text{м.ср}} = \frac{1}{3} (T_{\text{м.н}} + 2 \cdot T_{\text{м.к}}) + 273, \quad (4)$$

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

$$c_{\text{пр}} = \frac{c_0}{1 + \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{п}}} (\frac{1}{\epsilon_{\text{п}}} - 1)}, \quad (5)$$

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

$\epsilon_{\text{м}} = 0,8$;

$\epsilon_{\text{п}} = 0,59$ – степень черноты нагреваемого металла и кладки печи;

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

$$F_{\text{п}} = 2 \cdot (H \cdot L + H \cdot B + L \cdot B), \quad (6)$$

где L, B, H - размеры печного пространства:

длина L = 4,0 м;

ширина B = 2,0 м;

высота H = 1,5 м.

Упрощенная площадь зубчатого колеса:

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

$$F_M = S_{\text{бок.1}} + S_{\text{бок.2}} + S_k = \pi \cdot D \cdot l + \pi \cdot d \cdot l + 2 \cdot \pi (R^2 - r^2), \quad (7)$$

где D – наружный диаметр, м;

d – внутренний диаметр, м;

l – длина, м.

диаметр $d = 1,55$ м;

длина $l = 0,22$ м

Из (7) $F_M = 2 \cdot 3,14 \cdot (0,775^2 - 0,65^2) + 3,14 \cdot 1,55 \cdot 0,22 + 3,14 \cdot 1,3 \cdot 0,22 = 3,5 \text{ м}^2$;

Из (6) $F_{\Pi} = 2 \cdot (1,5 \cdot 4,0 + 1,5 \cdot 2,0 + 4,0 \cdot 2,0) = 17,00 \text{ м}^2$;

$$\text{Из (5)} \quad c_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{F_{C_0}}{\varepsilon_M} + \frac{F_{\Pi}}{\varepsilon_{\Pi}} (m - 1)} = 4,1 \text{ Вт / м}^2 \text{ К},$$

$$\text{Из (4)} \quad T_{\text{м.ср}} = \frac{1}{3} (20 + 2 \cdot 900) + 273 = 880 \text{ К},$$

$$\text{Из (3)} \quad \alpha_{\text{л}} = 4,1 \cdot \frac{[(\frac{1173}{100})^4 - (\frac{880}{100})^4]}{1173 - 880} = 181 \text{ Вт / м}^2 \text{ К},$$

Из (2) $\alpha = 181 + 10 = 191 \text{ Вт / м}^2 \text{ К}$;

$$\text{Из (1)} \quad Bi = \frac{191 \cdot 0,047}{39} = 0,23.$$

Т.к. $Bi < 0,25$ тело теплотехнически «тонкое», перепад температуры по сечению незначителен и им можно пренебречь, поэтому при расчете времени нагрева и выдержки изделия целесообразнее пользоваться понятием теплотехнически «тонкое» изделие, производить расчет по формулам для теплотехнически «тонких» изделий.

4) Расчет времени нагрева:

Время нагрева тонкого тела изделия в электрической печи периодического действия зависит от начальной температуры изделия и мощности печи.

Процесс нагрева 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.

$$q_n = c_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right], \quad (8)$$

где q_n – тепловой поток, Вт/ м²;

$c_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/ м² К;

T_m – средняя за время нагрева температура изделия, К;

T_n – конечная температура печи, К.

$$\tau_1 = \frac{G \cdot c}{q_n \cdot F_m} \cdot (t_m^2 - t_m^1), \quad (9)$$

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 .

Рациональное использование мощности печи достигается в тех случаях, когда температура загрузки в конце первого периода нагрева составляет 80...90% от заданной температуры нагрева.

$$t_m^2 = 0,9 \cdot t_{MK}, \quad (10)$$

где t_m^2 - температура загрузки в конце первого периода нагрева,
 $^{\circ}\text{C}$; t_{MK} - заданная температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$.

Второй этап начинается от температуры достижения в камере печи заданной температуры, которая остается неизменной в течение определенного времени. Потребляемая мощность при этом снижается, т.к. начинает работать терморегулятор, который включает и выключает нагреватели.

$$\tau_2 = \frac{G \cdot c}{\alpha \Sigma \cdot F_m} \cdot \ln \frac{t_{\text{п}} - t_m^2}{t_{\text{п}} - t_m^3}, \quad (11)$$

где G - масса нагреваемых изделий, кг;

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

$\alpha \Sigma$ - суммарный коэффициент теплоотдачи во втором периоде нагрева, Вт/м² К;

F_m - тепловоспринимающая поверхность нагреваемого металла (всей загрузки), м²;

$t_{\text{п}}$ - печи во втором периоде нагрева, $^{\circ}\text{C}$;

t_m^2, t_m^3 - температуры нагреваемых изделий соответственно в начале и в конце

второго периода нагрева.

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

$$\tau \Sigma = \tau_1 + \tau_2, \quad (12)$$

где $\tau \Sigma$ - суммарное время нагрева, с.

$$\text{Из (8)} \quad q_n = 4,1 \left[\left(\frac{1173}{100} \right)^4 - \left(\frac{880}{100} \right)^4 \right] = 53033,5 \text{ Вт / м}^2,$$

$$\text{Из (10)} \quad t_m^2 = 0,9 \cdot 840 = 756 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\text{Из (9) } \tau_1 = \frac{2700 \cdot 559}{53033,5 \cdot 7} \cdot (756 - 20) = 2992 \text{ с,}$$

$$\text{Из (11) } \tau_2 = \frac{2700 \cdot 559}{191 \cdot 7} \cdot \ln \frac{900 - 756}{900 - 840} = 982 \text{ с,}$$

$$\text{Из (12) } \tau_{\Sigma} = 2992 + 982 = 1,02 \text{ ч,}$$

10. Тепловой расчет электрической печи периодического действия

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, который представляет собой уравнение, связывающее приход и расход тепла. Тепловой баланс действующей печи составляют с целью определения технико-экономических показателей ее работы. Для электрических печей учитываются только расходные статьи теплового баланса.

10.1 Приходные статьи теплового баланса

Тепло, получаемое при прохождении электрического тока через нагреватели:

$$Q_{\text{эл}} = P, \text{ Вт} \quad (13)$$

где P – мощность печи, Вт.

$$\text{Из (13) } Q_{\text{эл}} = 400000 \text{ Вт.}$$

10.1.1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла для печей периодического действия:

$$Q_{\text{м}} = \frac{G}{\tau_{\text{н}}} \cdot C_{\text{м}} \cdot (t_{\text{мк}} - t_{\text{мн}}), \text{ Вт} \quad (14)$$

где G – масса нагреваемых изделий, кг;

$\tau_{\text{н}}$ – время нагрева металла, с;

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

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.

$$\text{Из (14)} \quad Q_M = \frac{2700}{3974} \cdot 559 \cdot (1123 - 293) = 311430,8 \text{ Вт.}$$

10.1.1 Потери тепла на нагрев приспособлений:

$$Q_T = d \cdot C_T \cdot (t_K - t_H), \text{Вт} \quad (15)$$

где d – масса приспособлений, нагреваемых в единицу времени, кг;

C_T – средняя теплоемкость металла приспособлений в интервале температур $t_K - t_H$, кДж/кг· К.

Приспособления изготовлены их легированной жаропрочной стали.

$$\text{Из (15)} \quad Q_T = \frac{60}{8775} \cdot 536(1113 - 293) = 2970 \text{ Вт.}$$

10.1.1 Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи:

$$Q_{\text{кл}} = 2Q_{\text{б.стен}} + 2Q_{\text{т.стен}} + Q_{\text{свода}} + Q_{\text{пода}}, \text{Вт} \quad (16)$$

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

$Q_{\text{т. стен}}$ - 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:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{о}}}{\frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_{\text{в}} \cdot F_{\text{нар}}}}, \text{ Вт} \quad (17)$$

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;

$h_1, h_2 \dots$ - коэффициент теплопроводности каждого слоя кладки, Вт/ м К.

$$F_1 = \sqrt{F_{\text{вн}} \cdot F_{1,2}}, \text{ м}^2, \quad (18)$$

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

$F_{1,2}$ – поверхность между слоями.

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

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

$$\lambda_{\text{ш}} = 0,98 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot t_1, \text{ Вт/ м} \cdot \text{ К} \quad (20)$$

$$\lambda_{\text{д}} = 0,11 + 0,232 \cdot 10^{-3} \cdot t_2, \text{ Вт/ м} \cdot \text{ К} \quad (21)$$

$$t_1 = \frac{t_{\text{п}} + t_{1,2}}{2}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (22)$$

$$t_2 = \frac{t_{\text{нар}} + t_{1,2}}{2}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (23)$$

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

$t_{1,2}$ - температуру между слоями кладки, °С;

$t_{нар}$ - температура наружной поверхности печи, °С .

$$Q_{ст} = \frac{t_{п} - t_{о}}{R_1 + R_2 + R_{нар}}, \text{ Вт}, \quad (24)$$

где R_1, R_2 – тепловые сопротивления слоев кладки;

R_3 –сопротивление передачи тепла окружающему воздуху.

$$R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1}, \text{ К / Вт} \quad (25)$$

$$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2}, \text{ К / Вт} \quad (26)$$

$$R_{нар} = \frac{1}{\lambda_v \cdot F_{нар}}, \text{ К / Вт} \quad (27)$$

Потери тепла через боковую стенку печи.

Боковая стенка состоит из легковесного шамота, диатомита.

Толщина шамотного слоя – 0,115 м;

Толщина диатомитового слоя – 0,23 м;

Площадь слоев кладки :

$$F_{вн} = 4 \times 1,5 = 6,0 \text{ м}^2;$$

$$F_{1,2} = 4,23 \times 2,195 = 9,285 \text{ м}^2;$$

$$F_{нар} = 4,69 \times 2,515 = 11,795 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (18) } F_1 = \frac{6,0 \cdot 9,285}{1} = 7,464 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (19) } F_2 = \frac{11,795 \cdot 9,285}{1} = 10,465 \text{ м}^2;$$

Принимаем $t_{п} = 900$ °С, $t_{1,2} = 740$ °С, $t_{нар} = 60$ °С.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

$$\text{Из (22) } t_1 = \frac{900+740}{2} = 820 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (23) } t_2 = \frac{60+740}{2} = 400,0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (20) } h_{\text{ш}} = 0,98 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 820 = 1,2 \text{ Вт/ м}$$

$$\text{К; Из (21) } h_{\text{д}} = 0,11 + 0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 0,2 \text{ Вт/ м}$$

К;

$$h_{\text{б}} = 18 \text{ Вт/ мК};$$

$$\text{Из (25) } R_1 = \frac{0,115}{1,2+0,464} = 0,013 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (26) } R_2 = \frac{0,23}{0,2+0,465} = 0,941 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (27) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 11,795} = 0,005 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (24) } Q_{\text{б. ст}} = \frac{900-20}{0,013+0,11+0,005} = 6875 \text{ Вт};$$

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{б. ст}} \cdot R_1 = 900 - 6875 \cdot 0,013 = 810 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{б. ст}} \cdot (R_1 + R_2) = 900 - 6875 \cdot (0,013 + 0,11) = 54 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

$$Q_{\text{б. ст}} = 6875 \text{ Вт}.$$

Потери тепла через торцевую стенку печи.

Боковая стенка состоит из легковесного шамота, диатомита.

Толщина шамотного слоя – 0,115 м;

Толщина диатомитового слоя – 0,23 м;

Площадь слоев кладки:

$$F_{\text{вн}} = 2,0 \times 1,5 = 3,0 \text{ м}^2;$$

$$F_{1,2} = 2,23 \times 2,195 = 4,895 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{нар}} = 2,69 \times 2,515 = 6,765 \text{ м}^2;$$

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		53

$$\text{Из (18) } F_1 = \sqrt{3 \cdot 4,895} = 3,832 \text{ Из (19) } F_2 = \sqrt{6,765 \cdot 4,895} = 5,754 \text{ м}^2;$$

$$\text{Принимаем } t_{\text{п}} = 900 \text{ }^{\circ}\text{C}, t_{1,2} = 740 \text{ }^{\circ}\text{C}, t_{\text{нар}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Из (22) } t_1 = \frac{900+740}{2} = 820 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{Из (23) } t_2 = \frac{55+740}{2} = 397,5 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{Из (20) } h_{\text{ш}} = 0,98 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 820 = 1,2 \text{ Вт/ м К};$$

$$\text{Из (21) } h_{\text{д}} = 0,11 + 0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 397,5 = 0,2 \text{ Вт/ м К};$$

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

$$\text{Из (25) } R_1 = \frac{0,115}{1,2 \cdot 3,832} = 0,025 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (26) } R_2 = \frac{0,23}{0,2 \cdot 5,754} = 0,2 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (27) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 6,765} = 0,008 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (24) } Q_{\text{т. ст}} = \frac{900-20}{0,025+0,2+0,008} = 3777 \text{ Вт.}$$

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{т. ст}} \cdot R_1 = 900 - 3777 \cdot 0,025 = 806 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{т. ст}} \cdot (R_1 + R_2) = 900 - 3777 \cdot (0,025 + 0,2) = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

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

$$Q_{\text{т. ст}} = 3777 \text{ Вт.}$$

Потери тепла через свод печи.

Боковая стенка состоит из легковесного шамота, диатомита.

Толщина шамотного слоя – 0,115 м;

Толщина диатомитового слоя – 0,23 м;

Площадь слоев кладки:

$$F_{\text{вн}} = 2,0 \times 4,0 = 8,0 \text{ м}^2;$$

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		54

$$F_{1,2} = 2,23 \times 4,23 = 9,433 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{нар}} = 2,69 \times 4,69 = 12,616 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (18) } F_1 = \sqrt{8 \cdot 9,433} = 8,687 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (19) } F_2 = \sqrt{12,616 \cdot 9,433} = 10,909 \text{ м}^2;$$

Принимаем $t_{\text{п}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{1,2} = 750 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{нар}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{Из (22) } t_1 = \frac{900+750}{2} = 825 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (23) } t_2 = \frac{50+750}{2} = 400 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (20) } h_{\text{ш}} = 0,98 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 825 = 1,2 \text{ Вт/ м}$$

$$\text{К; Из (21) } h_{\text{д}} = 0,11 + 0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 0,2 \text{ Вт/ м}$$

К;

$$h_{\text{в}} = 18 \text{ Вт/ м} \cdot \text{К};$$

$$\text{Из (25) } R_1 = \frac{0,115}{1,2 \cdot 8,687} = 0,011 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (26) } R_2 = \frac{0,23}{0,2 \cdot 10,909} = 0,105 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (27) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 12,616} = 0,004 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (24) } Q_{\text{св}} = \frac{900-20}{0,011+0,105+0,004} = 7333 \text{ Вт.}$$

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{св}} \cdot R_1 = 900 - 7333 \cdot 0,011 = 819 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{св}} \cdot (R_1 + R_2) = 900 - 7333 \cdot (0,011 + 0,105) = 49 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

$$Q_{\text{св}} = 7333 \text{ Вт.}$$

Потери тепла через под печи.

Боковая стенка состоит из легковесного шамота, диатомита.

Толщина шамотного слоя – 0,1 м;

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

Толщина диатомитового слоя – 0,09 м;

Площадь слоев кладки:

$$F_{\text{вн}} = 2,0 \times 4,0 = 8,0 \text{ м}^2;$$

$$F_{1,2} = 2,23 \times 4,23 = 9,433 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{нар}} = 2,69 \times 4,69 = 12,616 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (18) } F_1 = \sqrt{8 \cdot 9,433} = 8,687 \text{ м}^2;$$

$$\text{Из (19) } F_2 = \sqrt{12,616 \cdot 9,433} = 10,909 \text{ м}^2;$$

Принимаем $t_{\text{п}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{1,2} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{нар}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\text{Из (22) } t_1 = \frac{900+450}{2} = 675 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (23) } t_2 = \frac{450+50}{2} = 250 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Из (20) } h_{\text{ш}} = 0,98 + 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 675 = 1,16 \text{ Вт/ м К};$$

$$\text{Из (21) } h_{\text{д}} = 0,11 + 0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 0,168 \text{ Вт/ м К};$$

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

$$\text{Из (25) } R_1 = \frac{0,58}{1,16 \cdot 8,687} = 0,057 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (26) } R_2 = \frac{0,09}{0,168 \cdot 10,909} = 0,049 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (27) } R_{\text{нар}} = \frac{1}{18 \cdot 12,616} = 0,004 \text{ К/Вт};$$

$$\text{Из (24) } Q_{\text{пода}} = \frac{900-20}{0,057+0,049+0,004} = 8000 \text{ Вт}.$$

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{пода}} \cdot R_1 = 900 - 8000 \cdot 0,057 = 444 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{пода}} \cdot (R_1 + R_2) = 900 - 8000 \cdot (0,057 + 0,049) = 52 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

$$Q_{\text{пода}} = 8000 \text{ Вт}.$$

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

Из (16) $Q_{\text{кл}} = 2 \cdot 6875 + 2 \cdot 3777 + 7333 + 8000 = 36\,637$ Вт.

10.1.2 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:

$$Q_{\text{луч}} = c_0 \cdot \varepsilon_M \cdot \varphi \cdot F_{\text{отв}} \cdot \Delta\tau \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт} \quad (28)$$

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

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

$\varphi = 0,45$ – коэффициент дафрагмирования;

$F_{\text{отв}}$ – площадь загрузочного окна, м²;

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

$T_{\text{п}}$ – температура печи, К;

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

$$F_{\text{отв}} = b \cdot h, \quad (29)$$

где b – ширина окна;

h – высота окна.

$$\Delta\tau = \frac{\tau_{\text{отк}}}{\tau_{\text{общ}}}, \quad (30)$$

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

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

Из (30) $\Delta\tau = \frac{600}{18000} = 0,03$ с/с;

Из (29) $F_{\text{отв}} = 2,0 \cdot 1,5 = 3,0$ м²;

Из (28) $Q_{\text{луч}} = 5,7 \cdot 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,03 \cdot 3 \cdot \left[\left(\frac{1173}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 3482,8$ Вт

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57

10.1.5 Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями:

$$Q_{\text{к.з.}} = 0,9 \cdot Q_{\text{кп}}, \text{ Вт} \quad (31)$$

Из (31) $Q_{\text{к.з.}} = 0,9 \cdot 36\,637 = 32\,973,3 \text{ Вт}$.

Эскиз футеровки печи приведен на рисунке 17.

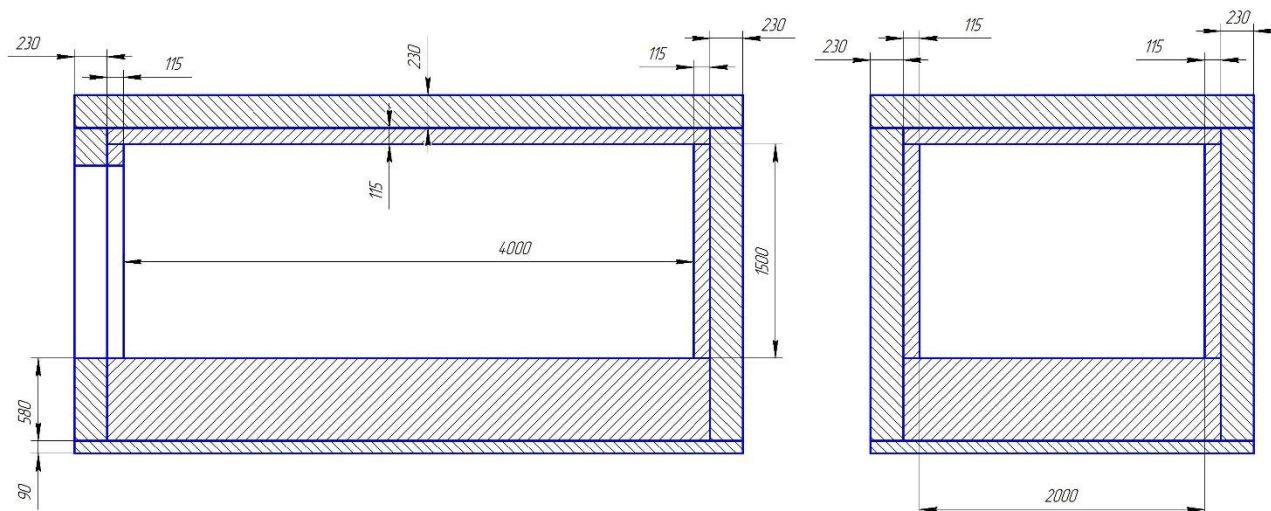


Рисунок 17 – Эскиз футеровки печи

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2018.310.00 ПЗ

ЛИСТ

58

Таблица 10 – Тепловой баланс печи

Приходные статьи	Вт	%	Расходные статьи	Вт	%
Тепло, получаемое при прохождении электрического тока через нагреватели	400 000	100	1. Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	311 430,8	77,9
			2. Потери тепла на нагрев приспособлений	2 970	0,7
			3. Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи	36 637	9,2
			4. Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:	3 482,8	0,9
			5. Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями	32 973,3	8,2
			6. Прочие расходы	12 506,1	3,1
Итого	400 000	100		400 000,0	100

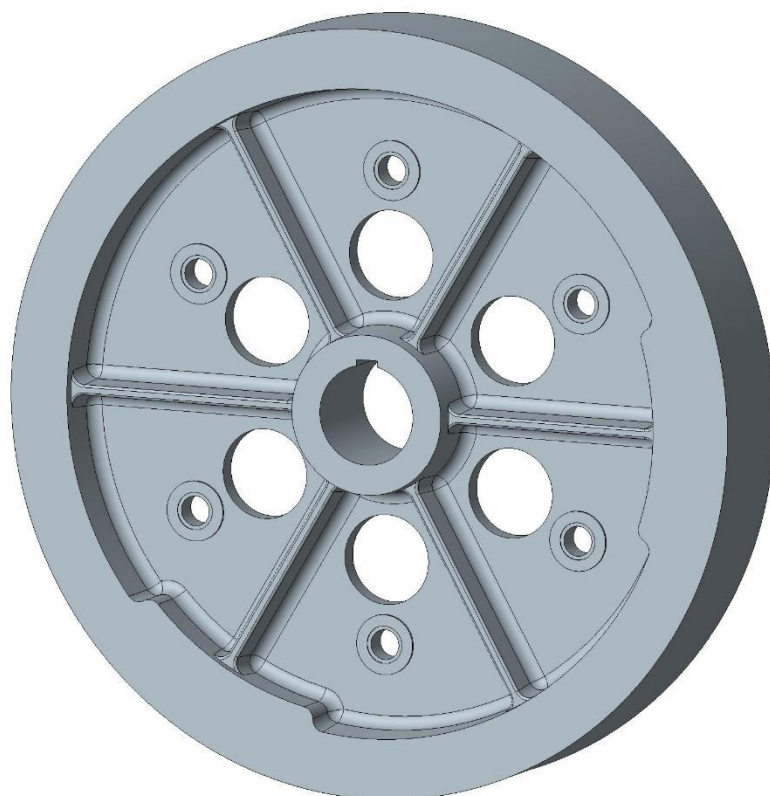


Рисунок 18 – 3D модель заготовки

Заключение

В дипломной работе разработана технология изготовления отливки «Колесо зубчатое» из стали 30ХМЛ ГОСТ 977-88 методом литья.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

Библиографический список

1. Вязников, Н.Ф. Легированная сталь / Н.Ф. Вязников. - М.: Metallurgizdat, 1963. – 320 с.
2. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов: справочник / В.Г. Сорокин. - М.: Интермет инжиниринг, 1957. - 420 с.
3. Специальные способы литья: учебно-методическое пособие / Б. С. Чуркин, А. Б.Чуркин, Ю. И. Категоренко; под ред. Б. С. Чуркина. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. 189 с.
4. Проектирование машиностроительных заводов и цехов: Справочник в 6-и т. Т.2/ Под ред. Е.С. Ямпольского. М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.
5. Сайт «mтомд.инфо», описание литья по газифицируемым моделям. - <http://www.mtomd.info/archives/3549>.
6. Проектирование и реконструкция литейных цехов: Учебное пособие к выполнению дипломного проекта / Б.А. Кулаков, Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина и др. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2001. – 144 с.
7. Карева, Н.Т. Термическая обработка сталей и сплавов: Учебное пособие / Н.Т. Карева. - 2-е изд. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006. - 176 с.
8. Филинов, С.А. Справочник термиста: справ. пособие / С.А. Филинов, И.В. Фиргер. - Л.: Машиностроение, 1975. - 179 с.
9. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий. - М.: Машгиз, 1962. - 252 с.
10. Рустем, С.Л. Оборудование и проектирование термических цехов / С.Л. Рустем. - М.: Машгиз, 1962. - 420 с.
11. Соколов, К.Н. Оборудование термических цехов / К.Н. Соколов. - М.: Машгиз, 1957. -420 с.
12. Кривандин, В.А. Metallургические печи / В.А. Кривандин, Н.Г. Молчанов, С.Л. Соломенцев. - 2-е изд., переработанное. М.: Metallургия, 1969. - 168 с.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	ЛИСТ
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

13. Корягин, Ю.Д. Тепловые и электрические расчеты термических печей:
Учебное пособие / Ю.Д. Корягин. - 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005.-
178 с.

					22.03.02.2018.310.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63