

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное общеобразовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
«Национальный исследовательский университет»
Факультет «заочный»
Кафедра « Материаловедения и физико-химия
материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ Г.Г. Михайлов

_____ 2018г.

Полный технологический цикл производства рельс типа Р65 из стали К76Ф

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.03.02.2018.272.ПЗ ВКР(ВКП)

Руководитель проекта, (к.т.н., доцент)

_____ И.В. Лапина

_____ 2018 г.

Автор проекта

студент группы М – 547

_____ П.А. Сивков

_____ 2018 г.

Нормоконтролер, (к.т.н., доцент)

_____ И.В. Лапина

_____ 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное общеобразовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
«Национальный исследовательский университет»
Факультет «заочный»
Кафедра «Материаловедения и физико-химии
материалов»
Специальность «Металловедение и
термообработка металлов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Г. Михайлов
_____ 2018г.

З А Д А Н И Е
на выпускную квалификационную работу (проект) студента
Сивкова Павла Анатольевича

Группа М-547

1 Тема работы

_____ (название) _____

утверждена приказом по университету _____ от 2018г. № _____
(утверждена _____ от 2018 г. _____ № _____)

2 Срок сдачи студентом законченной работы _____ 2018г.

3 Исходные данные к работе (проекту)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы (проекта)	Срок выполнения этапов работы (проекта)	Отметка о выполнении руководителя

Заведующий кафедрой _____ / Г.Г. Михайлов /

(подпись)

Руководитель работы (проекта) _____ / И.В. Лапина /

(подпись)

Студент _____ / П.А. Сивков /

(подпись)

АННОТАЦИЯ

Сивков П.А. Полный технологический цикл производства рельс типа Р65 из стали К76Ф – Челябинск: ЮУрГУ, М-547, 2018. – 63 с., 16 ил., 12 табл., библиографический список – 12 наим.

В выпускной квалификационной работе изложен полный технологический цикл производства рельс Р65 из стали К76Ф.

В работе проведен анализ условий работы и требования, предъявляемые к рельсам типа Р65. Подобран оптимальный технологический процесс, от выплавки стали, до ее прокатки и термоупрочнения с целью обеспечения требуемых структур и свойства изделия. Рассмотрены вопросы проведения контроля качества произведенной продукции по средствам неразрушающего контроля. Выбрано, описано основное, дополнительное и вспомогательное оборудование.

В работе произведен расчет горения топлива, расчет времени нагрева металла, тепловой расчет печи, выбор и описание термической обработки для стали К76Ф.

					<i>22.03.02.2018.272.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Полный технологический цикл производства рельс типа Р65 из стали К76Ф	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Сивков П.А.</i>						5	63
<i>Провер.</i>	<i>Лапина И.В.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Лапина И.В.</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Михайлов Г.Г.</i>							
						<i>ЮУрГУ Кафедра МиФХМ</i>		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	8
1.1 Общая характеристика рельсовой стали К76Ф.....	8
1.2 Доменное производство чугуна.....	15
1.3 Выплавка стали К76Ф в кислородно-конвертерной печи.....	17
1.4 Разливка стали К76Ф на МНЛЗ.....	19
1.5 Производство рельс типа Р65 на рельсобалочном стане.....	21
1.6 Термообработка рельсов Р65 из стали К76Ф.....	24
1.7 Микроструктура рельс Р65 после термообработки.....	26
1.8 Неразрушающий контроль рельсов типа Р65.....	28
1.9 Внутренние дефекты, дефекты макроструктуры и качество поверхности рельс Р65.....	31
2 ОПИСАНИЕ, РАСЧЕТ ОСНОВНОГО, ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	37
2.1 Выбор и расчет необходимого количества оборудования.....	37
2.2 Описание выбранного оборудования.....	38
2.3 Расчет горения топлива.....	45
2.4 Расчет нагрева металла и тепловой расчет печи.....	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	63

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Рельсовая сталь марки К76Ф - это высокоуглеродистая сталь, которая легируется ванадием до 0,15%. При выплавке стали марки К76Ф, из которой в последующем будут произведены рельсы типа Р65, должны соответствовать многим характеристикам, такие как твердость, ударная вязкость, работоспособность, способность выдерживать знакопеременные изгибающие напряжения и высокое удельное контактное давление. В рельсовую сталь для повышения качества помимо ванадия можно добавлять и другие микролегирующие добавки: например титан и цирконий.

Широкий спектр требований, предъявляемых к качеству высокоскоростных стометровых железнодорожных рельсов, требует совершенствования технологических процессов, разработки, опробования и внедрения новых технологий и использования прогрессивных методов в области производства рельсов.

Действующая на отечественных металлургических комбинатах технология производства железнодорожных рельсов обеспечивает необходимое качество и стойкость продукции. Рельсовая сталь в Российской Федерации выплавляется в конверторных цехах, что позволяет производить металлургам данную сталь в больших объемах. При этом не теряя качество получаемой стали, используемой для производства рельсов.

С помощью термической обработки, в рельсах Р65 достигается высокая надежность и долговечность в условиях эксплуатации. Данная выпускная квалификационная работа посвящена полному циклу производства 100 метровых рельс типа Р65 для сортового проката из стали К76Ф.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Общая характеристика рельсовой стали К76Ф

Рельсы являются основным элементом верхнего строения железнодорожного пути, воспринимающие воздействие подвижного состава с учетом высокой грузонапряженности, больших нагрузок на оси вагонов и локомотивов, массы поездов и возрастающих скоростей движения. Работоспособность железнодорожного транспорта в значительной мере определяется качеством рельсов. При работе в пути рельсы подвергаются воздействию периодических контактных нагрузок, а так же знакопеременных нагрузок, изгибающих рельсы в вертикальной плоскости, воздействию горизонтальных сил в кривых участках пути из-за центробежного ускорения подвижного состава [1].

При движении по кривым участкам происходит так же проскальзывание колес, величина которого составляет 2-3%. В результате этого происходит смятие и истирание головки рельсов в вертикальном направлении по боковой поверхности.

Наличие стыков и неровностей приводит к возникновению ударных нагрузок. Скольжение, пластическая деформация металла на поверхности, прохождение тока, идущего через контактные площадки от колеса к рельсу, приводит к нагреву поверхности катания головки выше температуры превращения $\alpha \rightarrow \gamma$ для рельсовой стали и закалке тонкого слоя (0,03–0,05мм) ввиду быстрого отвода тепла внутрь металла с образованием мартенситно-карбидной пленки. Высокая твердость и хрупкость такой пленки вызывает ее отслаивание и тем самым увеличивает износ рельсов. Закалка тонкого слоя головки рельса на мартенсит происходит и при торможении или движении с места с пробуксовкой колес. Кроме того, рельсы подвергают эрозионному износу из-за попадания пыли с балласта рельсового пути, песка из песочниц локомотивов и т. д.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Перечисленные условия эксплуатации приводят к возникновению и развитию в них различных дефектов и повреждений. Кроме того, в рельсах могут возникать и развиваться дефекты, связанные с технологией их изготовления. К ним отнесены плены, трещины, волосовины, задиры, поперечные риски.

В настоящее время основным видом разрушения рельсов в эксплуатации является контактно-усталостные повреждения. Дефекты контактного происхождения представляют собой местные наплывы на боковую грань головки рельса, темные пятна, выщерблины и выколы, поперечные трещины усталости в головке и боковой износ рабочей грани головки.

В процессе эксплуатации рельсов происходит значительная пластическая деформация металла головки, приводящая к наклепу металла. В свою очередь наклеп вызывает образование складок, возникающих в результате сплывания слоев металла при их пластическом течении. Складки металла, являющиеся концентраторами напряжений, вызывают зарождение трещины. Помимо этого, в результате наклепа, в металле возникают остаточные внутренние напряжения, способствующие зарождению продольной усталостной трещины. Зарождение этой трещины обусловлено возникновением высоких касательных напряжений от подвижного состава. Образовавшиеся на глубине 3–9 мм продольные трещины в головке постепенно переходят в поперечные и по мере их развития вглубь приводят к хрупкому разрушению рельса.

Для производства рельс типа Р65, целесообразней использовать марку стали К76Ф. Высокое содержание углерода и добавление легирующего элемента (ванадия), позволит получить высокую твердость, вязкость, прочность и износостойкость, что необходимо при строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей. Одной из множества характеристик рельсовой стали К76Ф является ударная вязкость, т.е. способность материала поглощать

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки в процессе работы.

Твердость так же является одним из показателей качества рельсовой продукции. В зависимости от назначения рельсов, их работы в условиях низких или повышенных температур устанавливают значения их твердости. Возможность получения той или иной твердости определяется химическим составом стали и применяемой к ней термической обработкой.

Вязкость рельсовой стали может определяться такими показателями, как КСУ, КСV, K_{1c} и др., и характеризует эксплуатационную надежность рельсов. Твердость и вязкость – это так же важные свойства рельсовых сталей. Так как при проходе железнодорожных составов рельсы должны поглощать приходящуюся, на них энергию и при этом не терять свою форму и геометрические размеры.

Износостойкость рельсовой стали, т.е. способность ее сопротивляться различными видам изнашивания поверхности, является характеристикой долговечности работы железнодорожного пути. Она определяется составом, структурой и свойствами стали, условиями эксплуатации рельсов и т.п.

Технические требования к материалу назначаются исходя из условий работы рельсов. К ней предъявляются следующие технические требования:

- временное сопротивление σ_B , МПа, не менее 1176;
- предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, не менее 794;
- относительное удлинение δ , %, не менее 7;
- относительное сужение Ψ , %, не менее 25;
- ударная вязкость при 20 °С КСУ, МДж/см², 15
- твердость на поверхности катания головки закаленных рельсов должна быть в пределах НВ 341 ... 388 и более 388 для высокоскоростных составов;
- твердость шейки и подошвы рельсов -- не более НВ 388

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- твердость по глубине упроченного слоя головки рельса должна быть постоянной или плавно снижаться и на глубине 16 мм от поверхности катания должна быть не менее НВ 300.

- колебание твердости, определяемое в разных точках на поверхности катания по длине одного рельса, не должно превышать НВ 30 в указанных пределах.

Кроме перечисленных технических требований к материалу, рельсовая сталь классифицируют также по составу, структуре и по способу изготовления.

По составу рельсовые стали подразделяются на углеродистые и низколегированные. [2].

По структуре в равновесном состоянии – на доэвтектоидные и эвтектоидные.

По способу выплавки сталь делят на [2]:

- мартеновскую;
- конверторную;
- электросталеплавильную.

В настоящее время для изготовления рельсов широко применяют конверторные углеродистые низколегированные стали, в частности сталь К76Ф. Ее рекомендуется применять в строительстве железных дорог и магистралей для изготовления рельсов, работающих:

- в тяжелых условиях, когда необходима их повышенная износостойкость (при отрицательных температурах в условиях крайнего севера.);
- в условиях динамических нагрузок (грузовые составы, высокоскоростные пассажирские поезда и пассажирские поезда обычного класса.);

Химический состав стали К76Ф (ГОСТ Р 51685 - 2013) представлен в таблице 1.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1 – Химический состав стали К76Ф [2]

C	Mn	Si	Cr	N	V	P	S	Al
						не более		
0,71- 0,82	0,75- 1,25	0,2-0,6	не более 0,20	-	0,03- 0,15	0,020	0,020	0,004

Критические точки данной стали, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Температура критических точек стали К76Ф (°С) [2].

Ac ₁	Ac ₃
720	735

Механические свойства и твердость стали К76Ф должны соответствовать нормам (ГОСТ Р 51685-2013), указанным в таблице 3 и 4 [2].

Таблица 3 – Механические свойства стали К76Ф [2].

Тип рельса	Временное сопротивление σ_s Н\мм ² Н\мм ²	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ Н\мм ² Н\мм ²	Относительное удлинение δ ,%	Относительное сужение Ψ ,%	Ударная вязкость КСУ, Дж\см ²
Р65	1180	800	9,0	25	15

Таблица 4 – Значения твердости стали после термической обработки в единицах твердости по Бринеллю [2].

Место определения	Твердость рельсов Р65, НВ
На поверхности катания головки (точка 1)	352-405
На глубине 10 мм от поверхности катания головки по вертикальной оси рельса (точка 2), не менее	341
На глубине 10 мм от поверхности выкружки рельса (точки 3,4) не менее	341
На глубине 22 мм от поверхности катания головки по вертикальной оси рельса (точка 5) не менее	321
В шейке, подошве(точка 6-8) не более	388

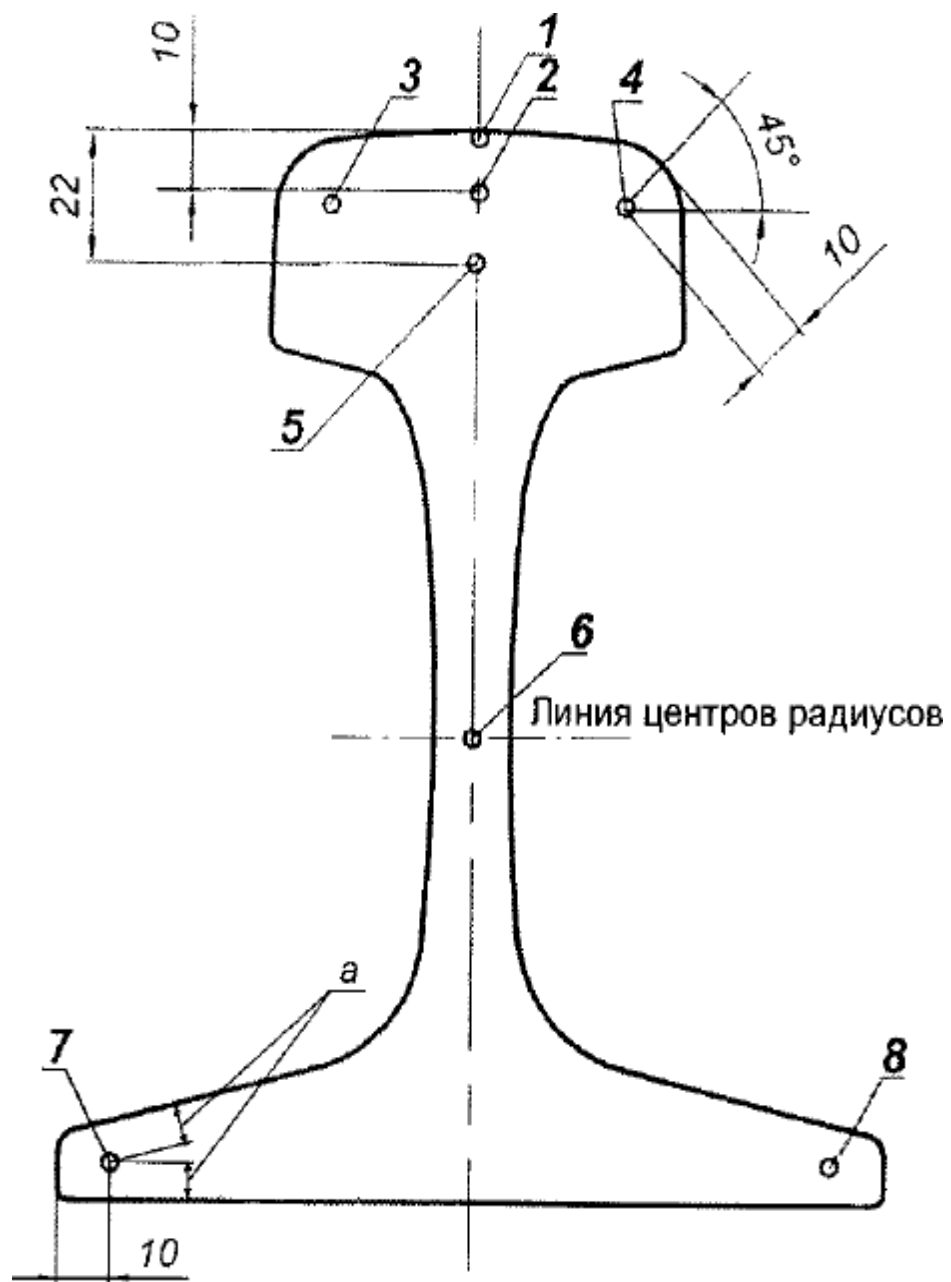


Рисунок 1 – точки измерения твердости рельсов размеры в мм [2].

1.2 Доменное производство чугуна

Сталь – это сплав железа с углеродом, содержание которого в стали 76Ф колеблется от 0,7 до 0,95%. Кроме того в ней содержатся постоянные примеси (марганец, кремний, сера, фосфор) и легирующий элемент (ванадий) Сырьем для производства рельсовой стали является передельный чугун, который выплавляется в доменных печах [3].

Цель доменного производства состоит в получении чугуна из железных руд путем их переработки в доменных печах. Почти весь объём печи, высота которой достигает нескольких десятков этажей, занимает шихта, составленная в определённых пропорциях. Она состоит из обогащённой руды, кокса в качестве топлива и флюса вещества, которое во время плавки образует шлак, помогая отделить пустую породу и золу от металла. Данное сырьё через сложную конструкцию засыпного аппарата непрерывно загружает в доменную печь сверху и в процессе нагревания постепенно опускается вниз. Навстречу твёрдым материалам снизу под большим давлением подаётся обогащённый кислородом воздух, нагретый до температуры 1100-1400°C [3].

В таком режиме руда проходит весь путь сверху вниз в течении 4-6 часов и, дойдя до нижней части печи горна, находится уже в жидком состоянии в виде расплавленных чугуна и шлака. В горне скапливается до тысячи и более тонн расплава, который постоянно заполняет эту часть печи и образует так называемый «мёртвый слой», высота которого составляет 0,6—1,7 метра. Когда в домне собирается достаточное количество чугуна и шлака, их выпускают через специальные огнеупорные отверстия - лётки, которые с этой целью каждый раз пробиваются бурильной машиной под управлением горнового. Выпуск чугуна происходит в интервале через каждые 40 минут. Получив выход из домны, расплавленный металл сильной струёй бьёт из отверстия, попадает в оборудованную систему желобов и, протекая через весь литейный цех, разливается в чугуновозы.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

С каждой плавки берется проба. Охлаждённый чугунный слиток отправляется в экспресс-лабораторию, где производится анализ его химического состава. На основе этих данных технологи доменного цеха могут скорректировать состав шихты, загружаемой в доменную печь, либо изменить технологические параметры доменной плавки. Также данные анализа учитывают при дальнейшей переработке чугуна в конвертерном цехе [3].

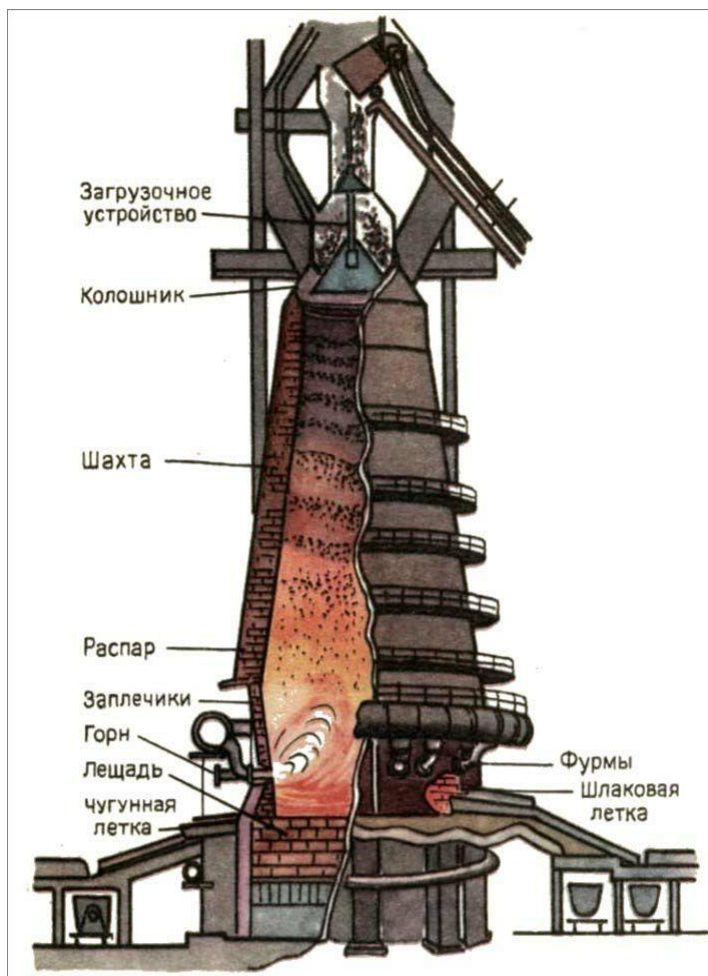


Рисунок 2 – Доменная печь.

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.272.ПЗ				

1.3 Выплавка стали К76Ф в кислородно-конвертерной печи

Сравнительное содержание примесей в чугунах и сталях отличается только их количеством. Поэтому основная задача при переделе чугуна в сталь состоит в удалении части этих примесей с помощью окислительных процессов. Механизм окисления не зависит от типа сталеплавильной печи [3].

Для производства рельсовой стали К76Ф целесообразнее использовать кислородно-конвертерный метод. Передельный чугун накапливают в миксерах, в которых чугун долгое время остается в жидком состоянии. Металл в нем постоянно подогревают и из него частично выходят вредные примеси такие как Р (фосфор) и S (сера). После чего металл сливают в ковш и замеряют температуру. Она должна быть не меньше 1300°C. При кислородно-конвертерном процессе в конвертор опускают фурму, через которую подается чистый кислород под давлением в 10 атмосфер. Струя газа выходящая из нее перемешивает жидкий металл, остаточные примеси Si и Mn соединяются с O₂. Когда температура достигнет 1400 °C начинает выгорать оставшийся углерод. Одновременно с началом продувки в конвертор загружают известь, бокситы, железную руду для образования жидкоподвижного шлака. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию и перемешивание его со шлаком [3].

В зоне контакта кислородной струи с чугуном интенсивно окисляется железо, так как концентрация его выше, чем примесей. Образующийся оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный в металле кислород, окисляет кремний, марганец, углерод и содержание их в металле понижается. При этом происходит разогрев ванны металла теплотой, выделяющийся при окислении примесей. Благодаря присутствию шлаков происходит удаление из металла фосфора в начале продувки ванны кислородом, когда температура ее еще не высока. В чугунах, перерабатываемых в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ)

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

содержание Р не должно превышать 0,015%. При повышении содержания фосфора для его удаления необходимо сливать шлак и наводить новый. Удаление серы из металла в шлак проходит в течении всей плавки. Однако для передела в сталь в ККЦ применяют чугуны с содержанием S до 0,07%.

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертор наклоняют, выпуская сталь в ковш. Одновременно вводят в ковш раскислители и легирующие добавки. В ковш сливают также небольшое количество шлака, который предохраняет металл в ковше от быстрого охлаждения. Общая длительность плавки в конверторе при загрузке 250 тонн составляет 30 минут. Для производства рельсовой стали К76Ф используют конверторы с подачей кислорода сверху. Конвертор представляет собой сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертора 250 тонн. В процессе работы конвертор может поворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси на 360 градусов для завалки металлолома, заливки чугуна, слива стали и шлака. Шихтовые материалы, используемые при выплавки стали являются:

- жидкий предельный чугун;
- металлолом;
- шлакообразующие (известь, железная руда, бокситы).

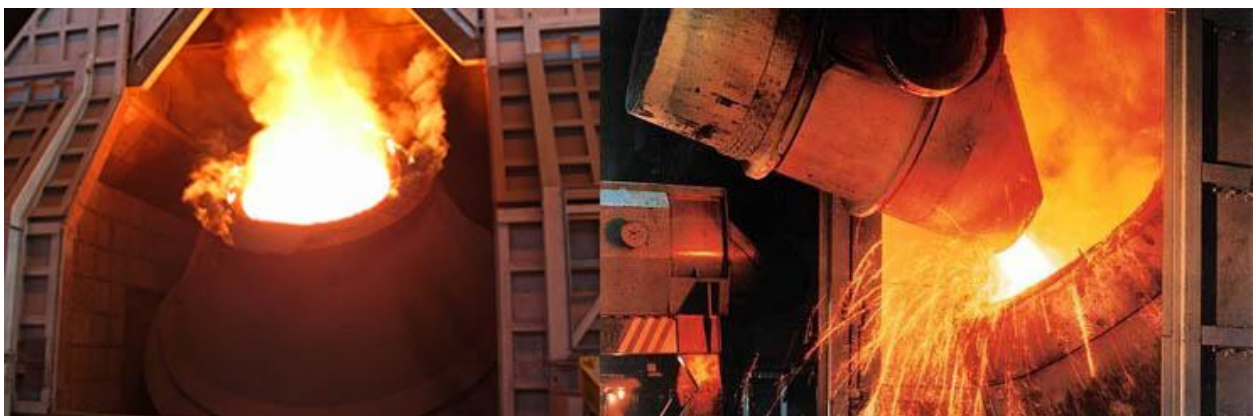


Рисунок 3 – Кислородно-конверторная печь.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.4 Разливка стали К76Ф на МНЛЗ

Полученный металл поступает на машины непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) [3].

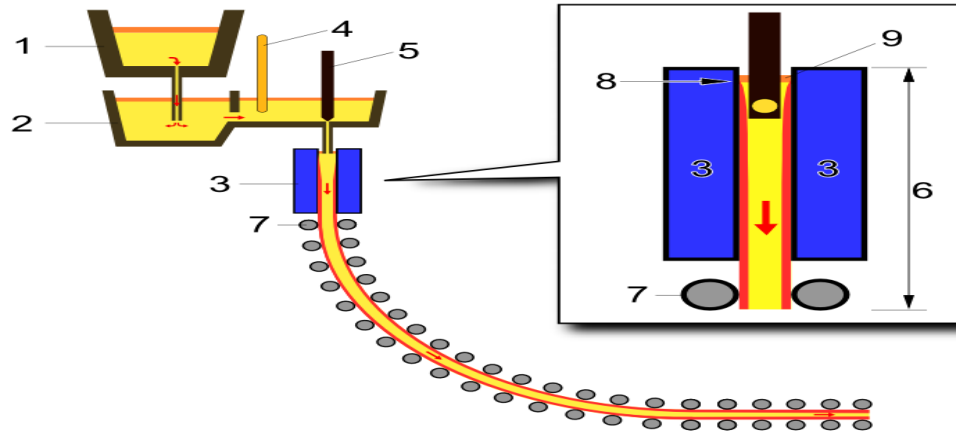


Рисунок 4 – Схема разливки стали на МНЛЗ

МНЛЗ (рисунок 4) включает в себя, в том числе сталеразливочный 1 и промежуточный 2 ковши, водоохлаждаемый кристаллизатор 3, систему вторичного охлаждения, устройства для вытягивания заготовки из кристаллизатора, оборудования для резки и перемещения слитка.

После выпуска металла из сталеплавильного агрегата, доводки сплава по химическому составу и температуре на агрегате ковш-печь (АКП), сталеразливочный ковш перемещается литейным краном на поворотный стенд МНЛЗ. Поворотный стенд - вращающаяся конструкция с двумя позициями для установки ковшей. После опустошения сталеразливочного ковша в промежуточный ковш в процессе разливки стенд поворачивается на 180° и полный, ранее установленный ковш переводится в позицию разливки в промежуточный ковш. Одновременно опустошённый ковш заменяется полным. Таким образом, обеспечивается наличие расплавленного металла в промежуточном ковше.

После открытия шибера ковша 1 жидкий металл начинает поступать в промежуточный ковш 2. Промежуточный ковш является своего рода буфером между

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.272.ПЗ				19

сталеразливочным ковшом и кристаллизатором 3. Уровень металла перед стопором разливки регулируется заслонкой 4. После открытия стопора 5 (стопорный механизм позволяет плавно регулировать поток металла в кристаллизатор, поддерживая в нём постоянный уровень) из промежуточного ковша металл поступает в кристаллизатор. Кристаллизатор представляет собой водоохлаждаемую конструкцию, которая при помощи сервоклапана совершает вертикальные колебания, для предотвращения застывания металла на стенках кристаллизатора и предотвращения образования трещин.

В кристаллизаторе происходит застывание стенок формируемого слитка (сляба). Далее, под воздействием тянущих роликов 7 сляб попадает в зону вторичного охлаждения (криволинейный участок ручья), где на металл через форсунки разбрызгивается вода.

После выхода непрерывной заготовки на горизонтальный участок роликового ручья, её разрезают на куски (резка кислородным газовым резаком). Газовый резак перемещается со скоростью, равной скорости движения заготовки, после завершения резания — быстро перемещается в исходную позицию начала резания для выполнения следующей фазы цикла резания. Полученная заготовка длиной 9 метров и весом 6,5 тонн поступает на прокатный стан для дальнейшего раската.

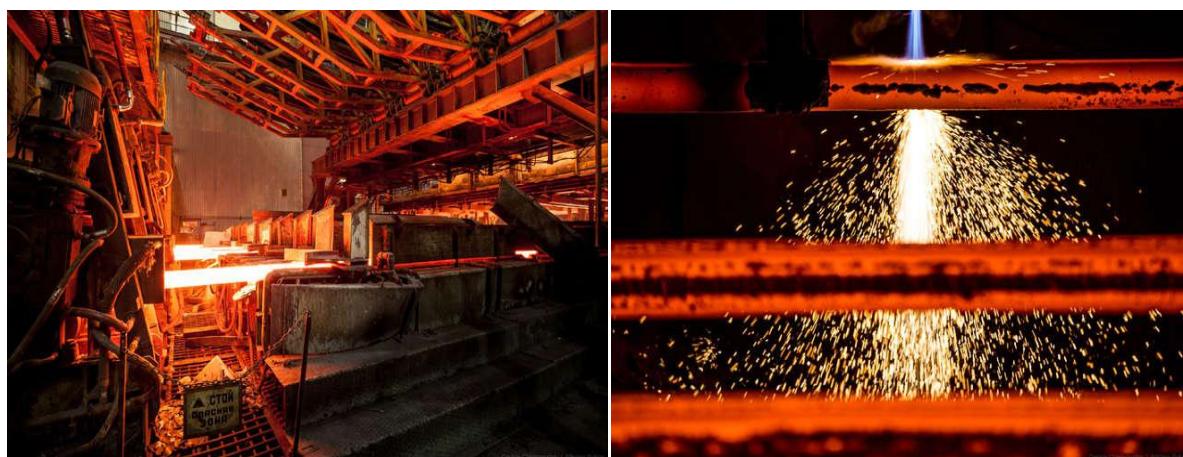


Рисунок 5 – Порезка готовой рельсовой заготовки на МНЛЗ.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При прокатке в универсальных калибрах сечение рельса остается симметричным относительно горизонтальной плоскости. Головка и подошва рельса при этом имеют почти одинаковую температуру. Рельсы, прокатанные с применением универсальных калибров, характеризуются мелкозернистой структурой, улучшенным качеством поверхности и повышенными механическими свойствами. Прокатка рельсов в универсальных клетях обеспечивает одновременную равномерную деформацию всего профиля четырьмя валками. Форма универсальных калибров гарантирует сохранение выпуклости головки рельса. При этом ходовая поверхность рельса, подвергаемая максимальной нагрузке при эксплуатации, обрабатывается под прямым давлением. Для ограничения ширины головки и подошвы рельса служит вспомогательная двухвалковая клеть с горизонтально расположенными валками [4, 5].

Оборудование рельсобалочного стана рассчитано на обработку рельсов длиной до 108 м. Для удаления печной окалины имеется установка гидросбива окалины, давление воды 18 МПа (180 кгс/см²). Гидросбив позволяет улучшить качество поверхности рельсов и получать ее без вкатанной окалины. Для подачи воды высокого давления установлены соответствующие насосы и фильтровальная станция для очистки загрязненной воды. Работа оборудования рабочих линий полностью автоматизирована. После раската рельс поступает в закалочную ванну при температуре 1050 °С где происходит термообработка. Затем концы раскатов рельсов длиной 108 м отрезают на пилах горячей резки. Перед охлаждением на холодильнике рельсы переворачивают на подошву. Правка рельсов производится в роликотправильных машинах в двух плоскостях жесткости. Кантовка рельсов происходит с помощью манипулятора. Кроме того, имеются два правильных гидравлических прессы [4, 5].

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Отделка концов производится на четырех сверлильноотрезных станках. На (рисунке 8) показаны способы прокатки рельсов с использованием универсальных клеток в трех последних проходах [5].

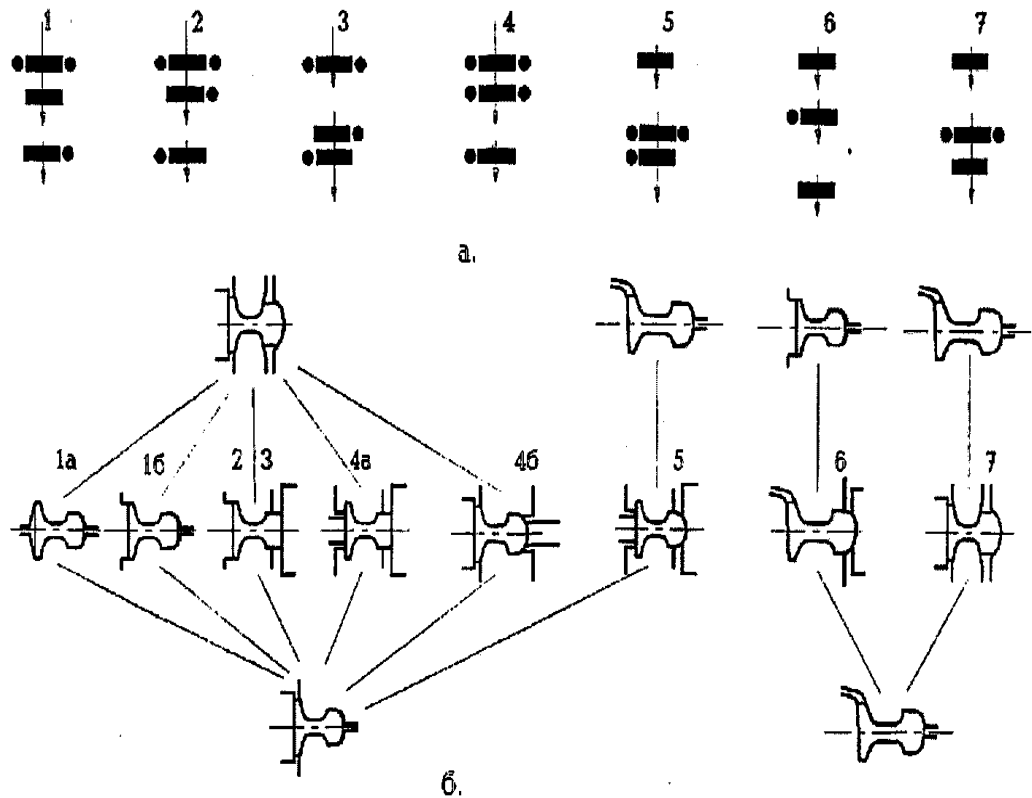


Рисунок 8 – а) схема размещения рабочих клеток; б) способы прокатки в калибрах; 1-7 - номера способов прокатки.

1.6 Термообработка рельсов Р65 из стали К76Ф

Исходя из условий эксплуатации рельсов, видов разрушения и анализа их причин, сталь, используемая для изготовления рельсов, помимо высокой износостойкости и контактно-усталостной прочности, должна обладать живучестью, характеризующейся скоростью роста поперечных усталостных трещин, а так же сопротивлению хрупкому разрушению, гарантирующих надежность в эксплуатации [6].

Работоспособность рельсов определяется их массой на 1 метр, содержанием углерода в рельсовой стали и ее качеством, технологией термической обработки и другими факторами [6].

Рельсы Р65 подвергаются термической обработке, включающей закалку поверхности головки рельса в полимерной ванне, при которой рельс поступает после прокатки при температуре 1050-1100°С в закалочную ванну (рисунок 9). Закалку головки рельса проводят погружением в полимерную среду с температурой 60-80°С, причем время обработки составляет несколько минут [7].

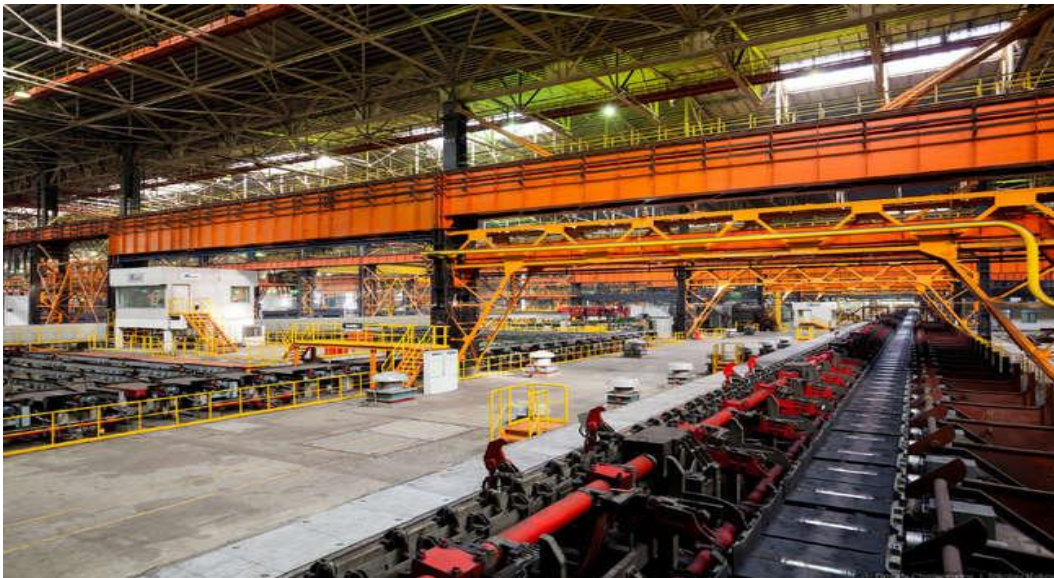


Рисунок 9 – Закалочная ванна рельсобалочного стана [7]

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

1.7 Микроструктура рельс Р65 после термообработки

Микроструктура головки термоупрочненных рельсов представляет собой пластинчатый перлит не выше 4 балла, а нетермоупрочненных 8 балла по шкале 1 ГОСТ 8233 (рисунок 11) [9].

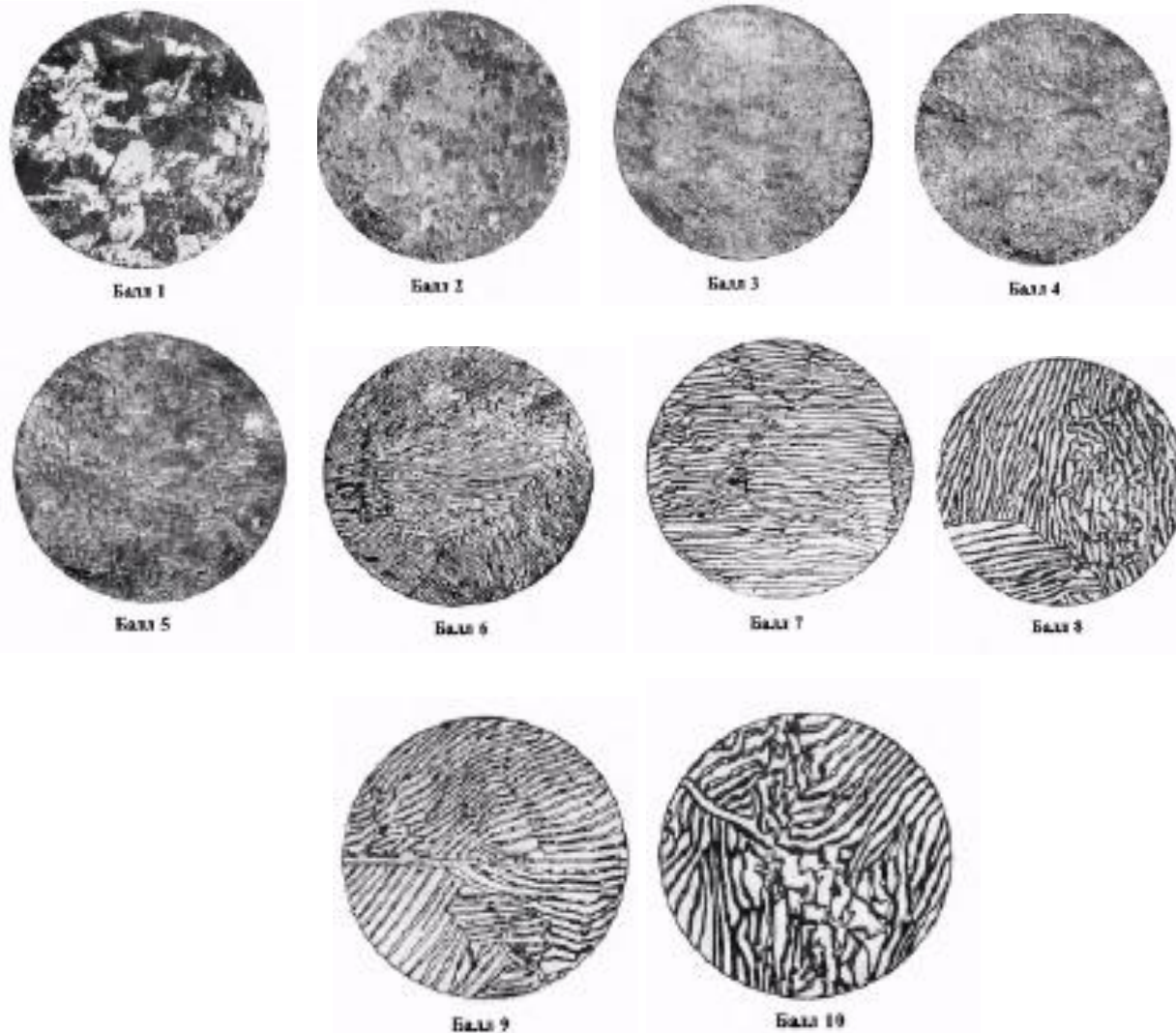


Рисунок 11 – Пластинчатый перлит [9].

В микроструктуре головки термоупрочненных рельсов допускается мелкие, разрозненные участки феррита не выше 2 балла по шкале 7 ГОСТ 8233 (рисунок 12), бейнит не допускается.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

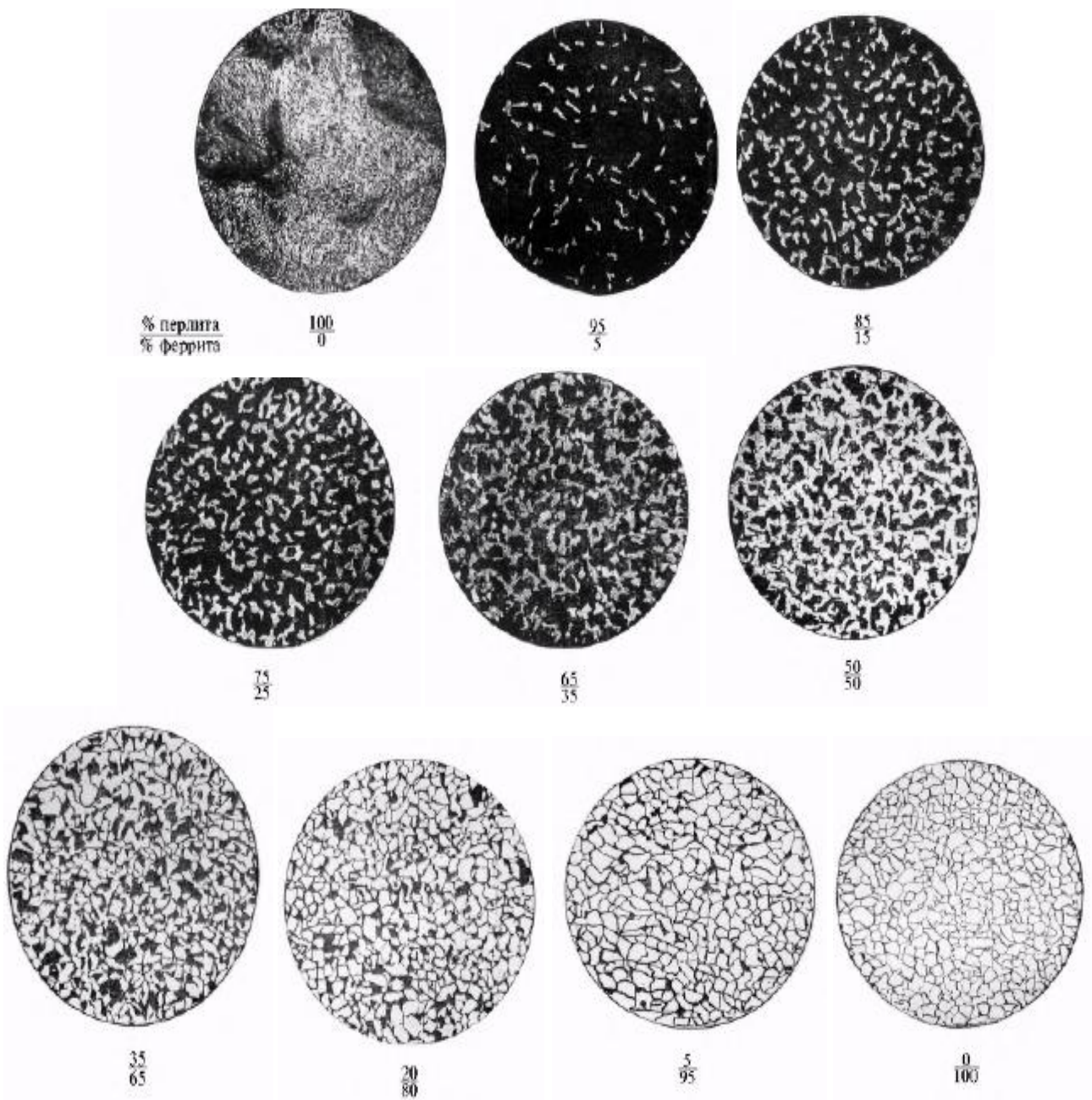


Рисунок 12 – Участки феррита [9]

1.8 Неразрушающий контроль рельсов типа Р65

Неразрушающий контроль (НК) 100 метровых рельс типа Р65 осуществляется на автоматизированной линии неразрушающего контроля с помощью вихретоковых, электромагнитных и ультразвуковых методов контроля. Это обеспечивает сканирование со сплошной регистрацией сигналов и сопутствующей контролю информации в электронном виде на выдачу протокола, содержащую информацию о выполнении контроля каждого рельса и об отсутствии или наличии в нем дефектов. Конструкция и размеры рельсов, подвергаемых НК, должны соответствовать ГОСТ Р 51685, ТУ 14-2Р-475 и ТУ 0921-231-01124323. Поверхность рельса должна быть очищена от окалины, передний и задний концы рельса должны быть обрезаны, торцы рельса должны быть без заусенцев. Температура контролируемой поверхности рельса от 10 °С до 60 °С. НК должен обеспечивать выявления следующих дефектов и недопустимых отклонений рельс Р65 [10]:

- внутренних несплошностей в головке , шейке и средней части подошвы рельса;
- дефектов макроструктуры в головке и шейке рельса;
- дефектов поверхности катания головки и основания подошвы.

Неразрушающему контролю подвергают рельсы по всей длине. Концевые участки рельс Р65 не проконтролированных автоматизированным НК, подвергаются обрезке или дополнительному ручному НК [10].

Для выявления дефектов в рельсах при их производстве следует применять следующие методы неразрушающего контроля.

Метод А ультразвуковой импульсный зеркально-теневого метод для выявления несплошности и дефектов макроструктуры в области головки и шейке; При зеркально-теновом методе признаком обнаружения дефекта служит ослабление амплитуды сигнала, отраженного от противоположной поверхности (она называется донной поверхностью) изделия. Размер выявляемых несплошностей более 50 мм.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод Б ультразвуковой импульсный эхо-метод для выявления несплошностей и дефектов макроструктуры в области головки, шейки и центральной части подошвы. Метод основан на контроле релеса зондирующими импульсами упругих волн. Их посылают в контролируемое изделие один за другим через определенные промежутки времени. Нормальный импульс, пройдя сквозь толщу материала, отражается от противоположной поверхности изделия. При наличии дефекта импульс ультразвукового колебания отразится от него раньше, чем от донной поверхности рельса. Между начальным и донным импульсом возникает промежуточный импульс. Размер выявляемых несплошностей менее 50 мм.

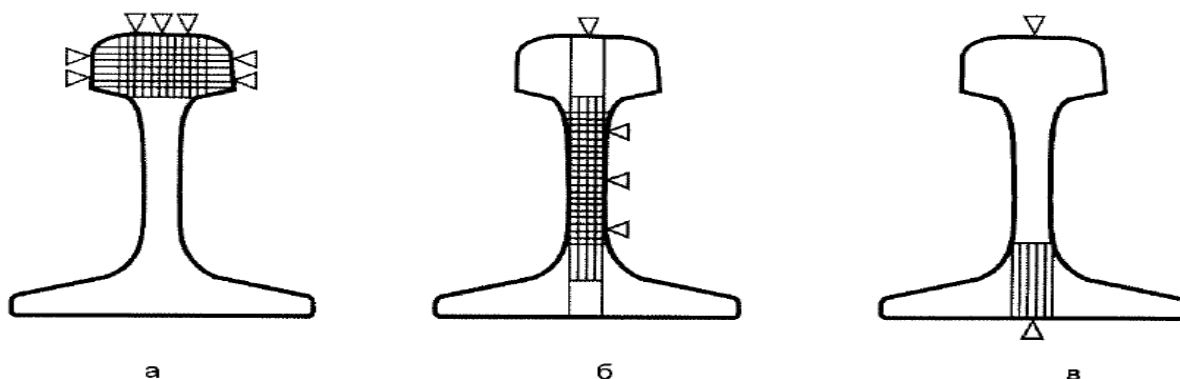
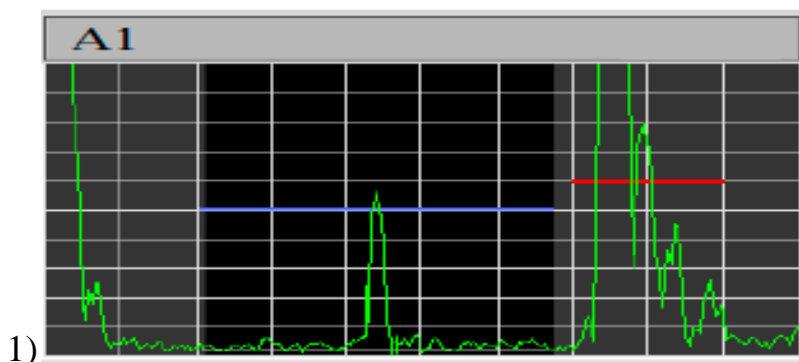


Рисунок 15 – Схема сканирования при НК рельсов методам Б [10]

На рисунке 16 показана схема фиксации дефекта ультразвуковым импульсным методом 1) А – развертка 2) Б – развертка [10].



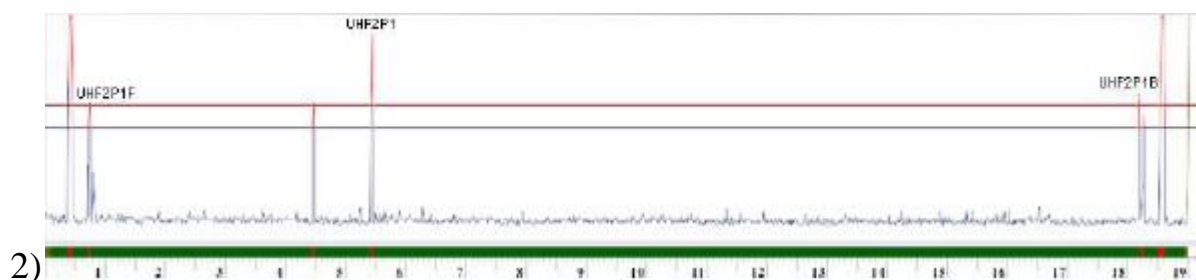


Рисунок 16 – Фиксация дефекта ультразвуковым импульсным методом [10]

Метод В вихретоковый магнитный метод для выявления дефектов поверхности и подповерхности трещины. Данный метод основан на зависимости амплитуды, фазы, траекторий, переходных характеристик и спектра частот токов, возбуждаемых в рельсе, от размеров формы, расстоянии до датчика, частоты и скорости перемещения.

Таблица 5 – Размеры моделей выявляемых дефектов.

В миллиметрах

Глубина	Длина	Ширина
1,0	20	0,5
1,5	10	0,5

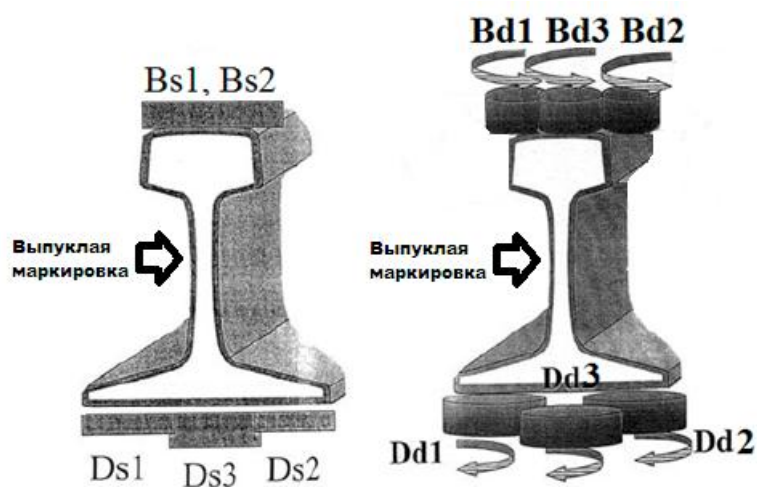


Рисунок 17 –Схема сканирования при НК рельсов методами В [10].

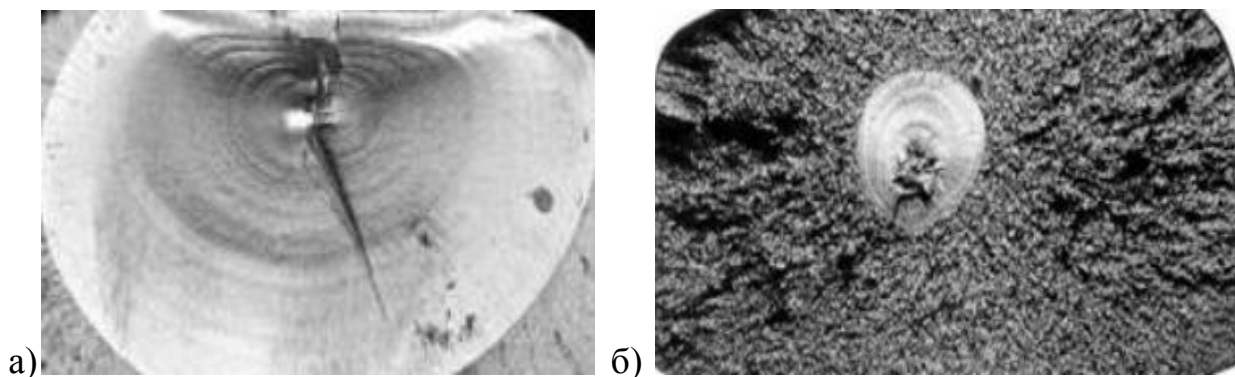


Рисунок 19 – дефекты выявляемые по средствам неразрушающего контроля а, б) продольные и поперечные трещины головки, в) вертикальное расслоение шейки

1.9 Внутренние дефекты и дефекты макроструктуры, качество поверхности рельс Р65.

В рельсах Р65 не допускаются флокены, расслоения, трещины, корочки, пятнистая ликвация, инородные металлические и шлаковые включения. Вид, характер и место расположения допускаемых и не допускаемых дефектов макроструктуры должны соответствовать нормам, установленным шкалой макроструктуры рельсов приведенным в таблице 6 и иллюстрации 1-16 [2, 11].

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6 – макроструктура в рельсах Р65 с допустимыми и недопустимыми отклонениями [2, 11].

Вид дефекта макроструктуры	Описание дефекта макроструктуры и причин его возникновения	Пределы допустимости	Рисунки
1	2	3	4
Ликвация	<p>Зоны повышенной (прямая ликвация) или пониженной (обратная ликвация) травимости (на темплете после глубокого травления) или контрастности (на серном отпечатке) и их сочетание вследствие обогащения или обеднения центральной части шейки и прилегающих к ней зон головки и подошвы легирующими элементами. Сосредоточенная осевая ликвация представляет собой ярко выраженные темные или светлые полосы в шейке или их сочетание. Рассредоточенная осевая ликвация представляет собой широкую зону, которая по степени травимости приближается к основному металлу и содержит темные или светлые участки в виде штрихов и точек. Специфическая отрицательная зонная ликвация (см. рисунок И.3) может быть обусловлена электромагнитным перемешиванием</p>	<p>Распространение сосредоточенной и рассредоточенной ликвации за пределы шейки в головку и (или) подошву на расстояние не более 15 мм. Ширина ликвационной зоны, не превышающая 1/3 толщины шейки. Наличие несимметрично расположенных относительно вертикальной оси рельса зон повышенной и пониженной травимости при длине такой зоны менее 15 мм.</p>	<p>И.1 (допустимо) И.2 (допустимо) И.3 (допустимо) И.4 (допустимо) И.5 (допустимо) И.6 (не допустимо) И.7 (не допустимо) И.8 (не допустимо)</p>

Продолжение таблицы 6

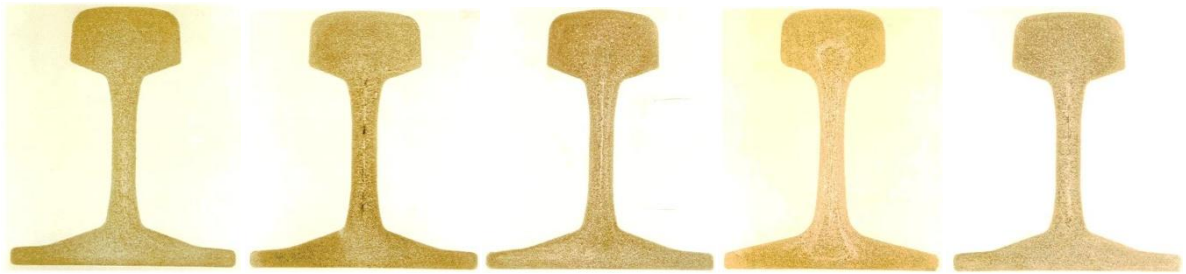
1	2	3	4
Точечная неоднородность	Одиночные точечные растравы (на темплете после глубокого травления) или точки повышенной контрастности (на серном отпечатке), а также их скопления, расположенные в любом элементе профиля рельса. Точки представляют собой неметаллические включения, поры, газовые пузыри и точечные ликваты. Частным случаем точечной неоднородности являются подкорковые пузыри	Диаметр одиночных точек не должен превышать 1 мм. Одиночными считаются точки, расстояние между которыми более 6 мм. В одном элементе профиля не должно быть более трех одиночных точек любого диаметра. На темплете (на всем сечении рельса) не должно быть более шести точек любого диаметра. Не допускается наличие скоплений точек любого диаметра. Скоплением считается группа трех и более точек любого диаметра при расстоянии между соседними точками 6 мм и менее.	И.9 (не допустимо) И.10 (не допустимо) И.11 (недопустимо) И.12 (недопустимо)
Ликвационные полосы	Нитевидные полосы повышенной травимости (на темплете после глубокого травления) или контрастности (на серном отпечатке). Дефект наследуется от внутренних горячих кристаллизационных трещин непрерывнолитых заготовок	Ликвационные полосы не допускаются на глубине менее 25 мм от поверхности катания головки. Длина одиночных ликвационных полосок в любом элементе профиля не должна превышать 5 мм. Длина группы ликвационных полосок в любом элементе профиля не должна превышать 6 мм при протяженности хотя бы одной полоски свыше 3 мм. Длина группы ликвационных полосок в любом элементе профиля не должна превышать 20 мм при протяженности всех полосок менее 3 мм. Группой считается скопление трех и более полосок.	И.13 (допустимо) И.14 (недопустимо) И.15 (не допустимо) И.16 (недопустимо)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

22.03.02.2018.272.ПЗ

Лист

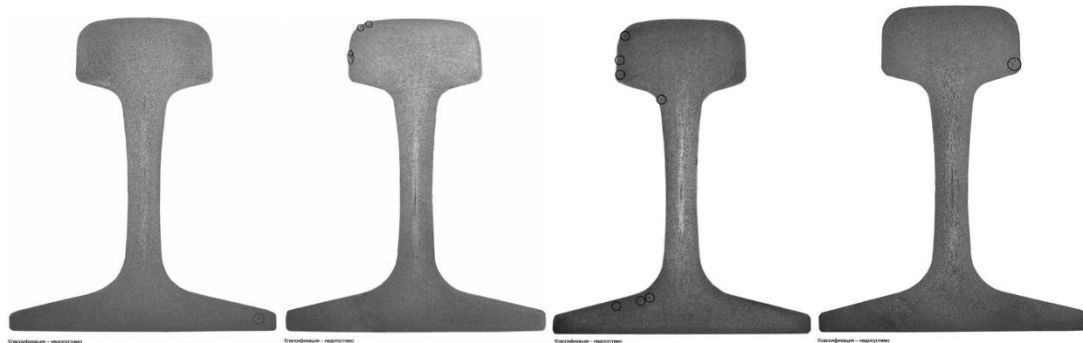
35



изображение (1-5) допустимая ликвация.



изображение (6-8) недопустимая ликвация.



Изображение (9-12) недопустимая точечная неоднородность.



изображение (13) допустимая ликвационная полоска (14-16) недопустимая ликвационная полоска [2, 11].

В рельсах Р65 не допускаются выявляемые при ультразвуковом контроле внутренние дефекты, амплитуда эхо-сигналов от которых или ослабление донного сигнала которыми превышают установленный уровень глава (1.8). Поверхность рельса Р65 должна быть без раскатанных загрязнений, трещин, рванин, раскатанных корочек, плен, закатов, раковин от окалины, подрезов, вмятин, продиров, поперечных рисок и поперечных царапин. Вид и максимальные значения параметров допускаемых дефектов поверхности в зависимости от места их расположения приведены в таблице 7 [2, 11].

Таблица 7 – Допускаемые дефекты поверхности рельсов Р65.

Вид дефекта	Пример дефекта	Место расположения и параметры дефекта для классов качества поверхности рельсов Е и Р					
		поверхность катания		средняя треть основания подошвы		остальные элементы профиля	
		Е	Р	Е	Р	Е	Р
Раскатанные пузыри, волосовины	Глубина	0,35	1,00	0,30	0,30	0,50	1,00
	Длина	500	1000	500	1000	500	1000
Продольные риски, царапины, морщины	Глубина	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,50
Примечание - На поверхности шейки рельсов вне зоны сопряжения с накладками допускаются выпуклые отпечатки высотой не более 5 мм.							

На поверхности рельсов Р65, предназначенных для сварки, на длине менее 200 мм от торцов не допускаются раскатанные пузыри, морщины и волосовины. Допускается удаление недопустимых дефектов пологой зачисткой абразивным инструментом вдоль рельса, без прижогов, на глубину, не превышающую установленную в таблице 8 [2, 11].

Таблица 8 - Допускаемая глубина удаления дефектов в рельсах Р65 в мм [2]

Место расположения дефекта	Глубина удаления дефектов для рельсов классов качества поверхности, не более	
	Е	Р
Поверхность катания	0,35	0,50
Средняя треть основания подошвы	0,30	0,50
Остальные элементы профиля	0,50	1,00

Допускается удаление отпечатков и знаков выпуклой маркировки на шейке рельса, в зоне сопряжения с накладками зачисткой абразивным инструментом вдоль направления прокатки при обеспечении размеров шейки. На поверхности катания головки и основания подошвы рельсов не допускаются дефекты, выявляемые неразрушающим контролем методом В. Поверхность торцов рельсов Р65 должна быть без рванин, расслоений и трещин. Кромки торцов рельсов должны быть без заусенцев и наплывов металла. Для рельсов без болтовых отверстий рекомендуется притуплять кромки торцов по контуру головки и шейки. На термоупрочненных рельсах с болтовыми отверстиями, на торцах по нижним кромкам головки рельсов и верхней части перьев подошвы должна быть снята фаска размером до 3 мм. Поверхность болтовых отверстий и фасок должна быть без рванин, задиров, винтовых следов от сверления. Для рельсов Р65 высокоскоростных и среднескоростных назначений применяют нормы качества поверхности класса Е, для рельсов остальных назначений применяют нормы качества поверхности класса Е или Р [2].

2 ВЫБОР, ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНОГО, ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Выбор и расчет необходимого количества оборудования

С учётом размеров детали и годовой программы выпуска выбираем следующую печь: нагревательная печь с шагающими балками с верхним и нижним обогревом для прокатного стана [12].

Для определения номинального фонда времени работы оборудования используется [12]:

$$\Phi_n = (K - B - П) \cdot Д \cdot C_m, \quad (1)$$

где К- количество дней в году;

В - количество выходных дней;

П - количество праздников;

Д- длительность рабочей смены;

C_м - число смен в сутки.

$$\Phi_H = (365 - 24 - 18) \cdot 12 \cdot 2 = 7752 \text{ часов}$$

где 365- количество рабочих дней в году;

12- длительность рабочей смены;

2 - число смен в сутки.

24- выходные дни

18- праздничные дни

Действительный фонд времени оборудования [12]:

$$\Phi_0 = k \cdot \Phi_H = 0,9 \cdot 7752 = 7096 \text{ часов}$$

Для определения количества оборудования найдем время, необходимое для обработки требуемого количества деталей [12]:

$$\tau = \frac{P}{\Pi}, \quad (2)$$

где Р – годовая программа, тонн

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

P – производительность печи, т/ч.

$$\tau = \frac{200000}{200} = 1000 \text{ часов}$$

Найдем расчетное число оборудования [12]:

$$N = \frac{\tau}{\Phi_0} = \frac{1000}{7096} = 0,14 \quad (3)$$

Для обработки понадобится одна нагревательная печь.

2.2 Описание выбранного оборудования

Печи с шагающими балками предназначены для газового нагрева массивных блюмов, слябов, балочных заготовок перед пластической деформацией (прокаткой), а также для проведения других термических процессов. В печах с шагающими балками заготовки опираются на специальные металлические балки, рабочий уровень которых находится выше уровня пода. Печные балки делятся на стационарные и приводные (шагающие) [12].

Печи с шагающими балками имеют максимальную производительность за счет применения верхнего и нижнего нагрева. Рекомендуемая толщина нагреваемых заготовок должна быть более 130 мм [12].

Описание конструкции печей.

Корпус печи собирается в единый нагревательный блок из печных футерованных модулей, планшетов, перекрытий и т.п. Уровень свода печей выполнен на разных уровнях, включая наклонные участки. К элементам печи, находящимся на возвышении (горелки, задвижки) подведены лестничные марши и площадки для обслуживания. В корпусе имеются уплотняемые проемы для уборки окалины и технического обслуживания [12].

Под печи собирается из бетонных огнеупорных плит, ниже идут слои из волокнистых материалов. Вся футеровка пода печи фиксируется на стальном

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

каркасе. В поду печи имеются проемы (пазы) под перемещения шагающих балок и под удаление окалины [12].

Неподвижные опоры (балки) состоят из нескольких рядов стальных опор и райтеров. Райтер изготавливается отливкой из высоконикелевой стали. Рабочие поверхности райтера согласовываются с Заказчиком по форме и размерам заготовок. Райтер опирается на опоры со специальными подушками. Для придания прочности печные балки изнутри охлаждаются водой, снаружи теплоизолируются [12].

Подвижные балки по конструкции схожи с неподвижными. Подвижные балки опираются на подвижную раму. Внизу у подвижных балок имеются специальные теплоизоляционные элементы, перекрывающие паз во время шагания. Уровень рабочих поверхностей подвижных и неподвижных балок в период паузы при шагании находится на одном уровне [12].

Рама Конструкция шагающих балок состоит из рамы вертикального перемещения и рамы горизонтального перемещения, промежуточных роликов, гидроприводов, и наклонных опор. Взаимное перемещение двух рам (шаг) относительно неподвижного пода перемещает заготовки в процессе работы [12].

Устройства водяного затвора. Для предотвращения свободного сообщения печных газов и воздуха предусмотрены водяные уплотнения. Водяные уплотнения выполнены в виде продольных каналов (баков) с элементами лабиринтных уплотнений [12].

Механизм печной заслонки. По краям боковых стенок печи на уровне подающего и выводящего рольгангов расположены печные заслонки.

Сторона подвода и отвода заготовок согласовывается с заказчиком исходя из планировки цеха. Печные заслонки поднимаются и опускаются в вертикальной плоскости по специальным направляющим, освобождая проём для загрузки [12].

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Печной рольганг загрузки является промежуточным звеном между подающим рольгангом и балками печи. Печной рольганг представляет собой сварную раму, на которой размещены консольные ролики. Ролики выполнены водоохлаждаемыми. Рабочая часть роликов размещена в печном пространстве. Датчик длины заготовки определяет её длину и выдает сигнал приводам на выполнение перемещение и остановки заготовки в нужном месте [12].

Печной рольганг выгрузки предназначен для снятия заготовок с печных балок и вывода заготовки из печи. Печной рольганг выгрузки состоит из сварной рамы, консольных роликов и специальных манипуляторов. Съём заготовок с балок производят манипуляторы, а рольганги выводят заготовку из печи [12].

Прилежащие рольганги. Подача заготовок в печь и отвод от печи производится, прилежащими рольгангами. Длина и форма прилежащих рольгангов согласовывается с заказчиком под конкретную задачу.

Нагрев печи производится теплом, выделяемым при горении природного газа (опционально - мазут). В подобных печах применяются высокоскоростные горелки с низким выбросом NO_x . Как правило, подобные печи имеют методическую, сварочную и томильную зоны. Каждая горелка оборудована необходимой арматурой и коммутирована в определенную зону нагрева [12].

Рекуператор. По ходу дымового канала размещается теплоизолированная камера с трубчатым рекуператором. Воздух горения, до поступления на горелки, проходит через рекуператор, где подогревается отходящими дымовыми газами. На случай превышения температуры дымовых газов, имеется система защиты рекуператора. Продукты сгорания после рекуператора подразумевается направлять в дымовую трубу. Тяга дымовой трубы и другие параметры согласовываются [12].

Система водяного охлаждения предназначена для подачи воды под снижение температуры эксплуатации печных балок, рольгангов, манипуляторов. Подача воды на каждый источник потребления обеспечивается разнесенной системой подачи и

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отвода воды. Система водяного охлаждения включает: гидравлические рукава, клапана, краны, вентили, реле протока жидкости, ниппели для присоединения гидравлических рукавов и т.п. [12].

Гидравлическая система печи предназначена для перемещения подвижных рам печи. Гидравлическая система включает насосную станцию, гидроцилиндры, дроссели, гидравлические магистрали, фильтры, масляный бак, необходимую арматуру и т.д.

Дополнительное оборудование:

- Телевизионная система печного видеонаблюдения.
- Система очистки печи от окалины. В зависимости от конструктивных решений в системе нагрева могут применяться рекуперативные горелки без применения рекуператора [12].

Техническая характеристика нагревательной печи представлена в таблице 9.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 9 – Техническая характеристика печи

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3
Тип печи	-	Печь с шагающими балками с верхним и нижним обогревом для прокатного стана
Назначение печи	-	Нагрев блюмов, балочных заготовок
Конфигурация печи	-	Рекуперативная зона; зона предварительного нагрева; зона нагрева; зона выдержки
Габариты:		
- расстояние между рольгангами	мм	45000
- внутренняя длина от загрузки до разгрузки	мм	37910
- ширина печи в свету	мм	11300
- высота над линией прокатки:	мм	1200
рекуперативная зона	мм	2200
зона предварительного нагрева	мм	2200
зона нагрева	мм	1500
зона выдержки	мм	2200
- ниже линии прокатки	мм	+800
- линия прокатки		
Обрабатываемая продукция:		
- блюм	мм	300x360
размеры сечения	мм	460
шаг	шт.	80
количество в печи	т	647,58
суммарная масса в печи	мин	162,16
время нагрева		
- заготовка	мм	180x180
размеры сечения	мм	270
шаг	шт.	137
количество в печи		
- балочная заготовка	мм	430x300x90
размеры сечения	мм	530
шаг	шт.	70
количество в печи		
- балочная заготовка	мм	610x320x100
размеры сечения	мм	725
шаг	шт.	51
количество в печи		
Марка стали	-	Углеродистая сталь
Максимальная производительность	т/ч	240

Продолжение таблицы 9

1	2	3
Тип загрузки	-	Холодный (от минус 20 °С до 40 °С)
Температура выгрузки:		
для блюмов		
- базовая	°С	1220
- максимальная	°С	1280
для балочных заготовок		
- базовая	°С	1250
- максимальная	°С	1280
Тип топлива	-	Природный газ
Тип горелок*:		
сводовые радиационные (зона 7, 8, 9)	шт.	28
- количество	м ³ /ч	24
- расход природного газа	м ³ /ч	245
- расход воздуха	МВт	0,23
- тепловая мощность	(Мкал/ч)	(200)
боковые воздушные беспламенные (зона 1, 4, 6)	шт.	18
- количество	м ³ /ч	255
- расход природного газа	м ³ /ч	2566
- расход воздуха	МВт	2,4
- тепловая мощность	(Мкал/ч)	(2100)
боковые воздушные беспламенные (зона 2)	шт.	6
- количество	м ³ /ч	304
- расход природного газа	м ³ /ч	3059
- расход воздуха	МВт	2,8
- тепловая мощность	(Мкал/ч)	(2500)
боковые воздушные беспламенные (зона 3, 5)	шт.	12
- количество	м ³ /ч	216
- расход природного газа	м ³ /ч	2174
- расход воздуха	МВт	2,0
- тепловая мощность	(Мкал/ч)	(1700)
передние воздушные беспламенные (зона 10)	шт.	10
- количество	м ³ /ч	78
- расход природного газа	м ³ /ч	785
- расход воздуха	МВт	0,72
- тепловая мощность	(Мкал/ч)	(600)
пилотные		
- количество	шт.	10

Окончание таблицы 9

1	2	3
Давление природного газа перед горелками	кПа	25
Давление воздуха перед горелками	кПа	5
Температура воздуха на горение перед горелками, не более	°С	480
Температура природного газа	°С	30
Рекуператор: - тип - температура дымовых газов перед рекуператором - температура дымовых газов на выходе рекуператора - объемный расход дымовых газов на входе - температура воздуха на выходе - объемный расход воздуха для подогрева - количество секций в параллели	- °С °С м³/ч °С м³/ч шт.	Конвективный противоточный не более 750 не более 350 90800 не более 500 82100 3
Дымовая труба: - количество - высота - внутренний диаметр в устье - внутренний диаметр в основании	шт. м м м	1 65 3,5 4,65
Проектная мощность: зона предварительного нагрева зона нагрева №1 зона нагрева №2 зона выдержки	МВт (Гкал/ч) МВт (Гкал/ч) МВт (Гкал/ч) МВт (Гкал/ч)	23,7 (20,4) 39,8 (34,2) 39,8 (34,2) 17,2 (14,8)

* Технические характеристики приведены из расчета на одну горелку

2.3 Расчет горения топлива

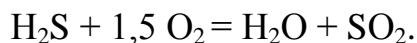
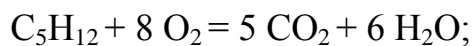
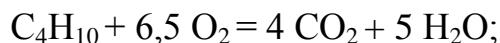
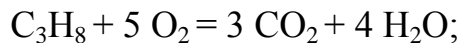
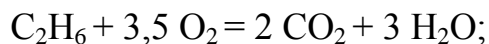
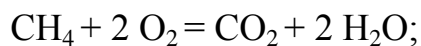
Топливо состоит из двух частей: горючей и негорючей (балласта).

Состав природного газа, % [12]:

$CH_4 - 95$; $C_2H_6 - 2,7$; $C_3H_8 - 0,3$; $C_4H_{10} - 0,3$; $C_5H_{12} - 0,6$; $CO_2 - 0,1$; $N_2 - 1,1$.

Горючая часть газообразного топлива состоит из смеси горючих газов: CO – окиси углерода, H_2 - водорода, CH_4 – метана, C_nH_m – углеводородов, а негорючая часть – из смеси негорючих газов: CO_2 – углекислого газа, H_2O - водяного пара, N_2 - азота.

Реакции горения [12]:



CO_2 и N_2 – переходят в продукты горения.

Для полного сжигания топлива требуется [12]:

$$22,4 м^3 CH_4 \rightarrow 44,8 м^3 O_2$$

$$22,4 м^3 C_2H_6 \rightarrow 78,4 м^3 O_2$$

$$22,4 м^3 C_3H_8 \rightarrow 112 м^3 O_2$$

$$22,4 м^3 C_4H_{10} \rightarrow 145,6 м^3 O_2$$

$$22,4 м^3 C_5H_{12} \rightarrow 179,2 м^3 O_2$$

Для сжигания горючих компонентов соответственно требуется кислорода [12]:

$$CH_4 \rightarrow 95 \cdot 2 = 190 м^3$$

$$C_2H_6 \rightarrow 2,7 \cdot 3,5 = 9,45 м^3$$

$$C_3H_8 \rightarrow 0,3 \cdot 5 = 1,5 м^3$$

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$C_4H_{10} \rightarrow 0,3 \cdot 6,5 = 1,95 \text{ м}^3$$

$$C_5H_{12} \rightarrow 0,6 \cdot 8 = 4,8 \text{ м}^3$$

Итого $207,7 \text{ м}^3$ кислорода.

Если сжигание происходит в сухом воздухе, то доля кислорода в нем по объему составляет 21%, а остальные 79% приходится на азот. таким образом, количество азота в воздухе: $79/21=3,762$ раза больше количества кислорода. поэтому расход воздуха для сжигания 100 м^3 газа рассматриваемого состава буде равен

$$V_{\text{в}} = 207,7 + 207,7 \cdot 3,762 = 989,07 \text{ м}^3$$

Теплота сгорания топлива [12]:

$$\begin{aligned} Q_{\text{н}} &= 358,2 \text{СН}_4 + 637,5 \text{С}_2\text{Н}_6 + 912,5 \text{С}_3\text{Н}_8 + 1186,5 \text{С}_4\text{Н}_{10} + 1460,8 \text{С}_5\text{Н}_{12} = \\ &= 358,2 \times 95 + 637,5 \times 2,7 + 912,5 \times 0,3 + 1186,5 \times 0,3 + 1460,8 \times 0,6 = \\ &= 37256,13 \text{ кДж/Нм}^3 \end{aligned}$$

Расчёт горения газа с различными значениями коэффициентов избытка воздуха α представлен в таблице 6. Коэффициент $\alpha = 1$ используется для расчёта теоретически необходимого расхода воздуха при сжигании 1 нм^3 газа. α_1 - коэффициент избытка воздуха в корне факела равный $1,05 \dots 1,1$. α_2 - коэффициент избытка воздуха на загрузочном конце печи, который принимают в пределах $1,8 \dots 2,4$.

Проверку правильности расчёта горения топлива следует производить, составляя материальный баланс процесса горения на 100 нм^3 газа при заданном значении α_2 (значения α_2 принимаем из таблицы 10). Пример расчёта материального баланса в массовых единицах представлен в таблице 11. Перевод нм^3 каждого газа в кг производится путём умножения на их плотности $\rho \text{ кг/нм}^3$.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Таблица 10 – Расчет горения природного газа

Состав 1 м ³ газа, %	Реакции горения	Требуется для горения, м ³			Образуется при горении, м ³					
		O ₂	N ₂	воздуха	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Сухих газов	Всех газов
CH ₄ = 95	CH ₄ + 2 O ₂ = CO ₂ + 2 H ₂ O	2×0,95 = 1,9	для α 2,077 × 3,76 = 7,8095	для α 2,077 + 7,8095 = 9,8865	0,95	2×0,95= 1,9	для α 7,2925+ 0,073= 7,3655	-----	для α 0,992+ 0,008+ 7,3655 = 8,3655	для α 8,3655+ 1,899= 10,2645
C ₂ H ₆ = 2,7	C ₂ H ₆ + 3,5 O ₂ = 2CO ₂ + +3 H ₂ O	3,5×0,027 = 0,0945	для α ₁ 7,8095× 1,21 = 9,4495	для α ₁ 2,513+ 9,4495 = 11,9625	2×0,027= 0,054	3×0,027 =0,081	для α ₁ 8,022+ 0,073= 8,095	для α ₁ 2,1335- 1,9395= 0,194	для α ₁ 0,992+ 0,008+ 8,095+ 0,194= 9,289	для α ₁ 9,289+ 1,899= 11,188
C ₃ H ₈ = 0,3	C ₃ H ₈ + 5 O ₂ = 3 CO ₂ + +4 H ₂ O	5×0,003 = 0,015	для α ₂ 7,8095× 1,48 = 11,5581	для α ₂ 3,074 + 11,5581 =14,6321	3×0,003= 0,009	4×0,003 =0,012	для α ₂ 13,2724+ 0,073= 13,3454	для α ₂ 3,5299- 1,9395= 1,5904	для α ₂ 0,992+ 0,008+ 13,3454 +1,5904 = 15,9358	для α ₂ 15,9358 +1,899= 17,8348
C ₄ H ₁₀ = 0,3	C ₄ H ₁₀ + 6,5O ₂ = 4CO ₂ +5 H ₂ O	6,5×0,003 = 0,0195			4×0,003= 0,012	5×0,003 =0,015				
C ₅ H ₁₂ = 0,6	C ₅ H ₁₂ + 8O ₂ = 5CO ₂ + + 6 H ₂ O	8×0,006 = 0,048			5×0,006= 0,03	6×0,006 =0,036				
CO ₂ = 0,1	переходит в газы	-----			0,001	-----				
N ₂ = 1,1	переходит в газы	-----			-----	-----				
	всего при α=1	2,077	7,8095	9,8865	1,056	2,044	7,3655	-----	8,3655	10,2645
	всего при α ₁ = 1,21	2,513	9,4495	11,9625	1,056	2,044	8,095	0,194	9,289	11,188
	всего при α ₂ = 1,48	3,074	11,5581	14,6321	01,056	2,044	13,3454	1,5904	15,9358	17,8348

Материальный баланс горения топлива представлен в таблице 11.

Таблица 11 - Материальный баланс процесса горения

Приход	кг	%	Расход	кг	%
Природный газ:			Продукты горения:		
$\text{CH}_4 = 86 \times 0,717$	61,662	4,435			
$\text{C}_2\text{H}_6 = 3,8 \times 1,356$	5,1528	0,37	$\text{CO}_2 = 0,992 \times 100 \times$	196,1184	14,089
$\text{C}_3\text{H}_8 = 0,3 \times 2,02$	0,606	0,044	1,977		
$\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,3 \times 2,04$	0,612	0,044		152,6796	10,968
$\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,5 \times 3,218$	1,609	0,116	$\text{H}_2\text{O} = 1,899 \times 100 \times$		
$\text{H}_2\text{S} = 0,8 \times 1,539$	1,2312	0,088	0,804	1013,134	72,783
$\text{CO}_2 = 1 \times 1,977$	1,977	0,142		9	
$\text{N}_2 = 7,3 \times 1,251$	9,1323	0,657	$\text{N}_2 = 8,0986 \times 100 \times$		1,992
			1,251	27,723	
Воздух:					0,168
$\text{O}_2 = 2,1335 \times 100 \times$			$\text{O}_2 = 0,1940 \times 100 \times$	2,3408	
1,429	304,877	21,927	1,429		
$\text{N}_2 = 8,022 \times 100$					
$\times 1,251$	1003,55	72,177	$\text{SO}_2 = 0,008 \times 100$		
			$\times 2,926$		
Итого	1390,40	100	Итого	1391,996	100
	9			7	
Невязка: $(100 \times 1,5877) : 1390,409 = 0,114 \%$					

Расхождение в приходной и расходной частях материального баланса, обусловленное накоплением ошибки при вычислениях, является приемлемым, поскольку не превышает 0,12%.

Определение температуры горения.

Если бы все тепло, выделяющееся при сгорании топлива, пошло на нагрев продуктов горения, то оно бы имело бы температуру, которая называется калориметрической [12]:

$$t_k = \frac{Q_n^p}{V_{пс} \cdot c}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

где Q_n^p - теплота сгорания топлива, кДж/м³;

$V_{пс}$ - объем продуктов сгорания, образующихся при сгорании единицы объема топлива, м³/м³;

c – средняя теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(м³·град).

$$Q_n^p = 37256,13 \text{ кДж} / \text{Nm}^3$$

Для определения температуры воспользуемся понятием энтальпии, представляющей собой произведение теплоемкости на температуру [12]:

$$i = c \cdot t, \text{ кДж} / \text{м}^3.$$

Поскольку теплоемкость газов является функция температуры, а для нахождения калориметрической температуры необходимо знать теплоемкость продуктов сгорания, воспользуемся методом последовательных приближений. Найдем энтальпию продуктов сгорания при $\alpha = 1,21$.

$$i_0 = c \cdot t_k = \frac{Q_n^p}{V_{пс}} = \frac{37256,13}{11,2} = 3326,4 \text{ кДж} / \text{м}^3 \quad (5)$$

Зададимся возможной температурой продуктов горения 1900⁰С:

$$i_{CO_2} = 0,1409 \cdot 4910,51 = 691,89$$

$$i_{H_2O} = 0,1097 \cdot 3889,72 = 426,7$$

$$i_{O_2} = 0,0199 \cdot 3142,76 = 52,54$$

$$i_{N_2} = 0,7278 \cdot 2970,25 = 2161,75$$

$$i_{1900} = 3157,26$$

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Поскольку значение $i_0 > i_{1900}$, зададимся температурой продуктов горения 2000°C .

$$i_{\text{CO}_2} = 0,1409 \cdot 5090 = 717,18$$

$$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1097 \cdot 3984 = 437,04$$

$$i_{\text{O}_2} = 0,0199 \cdot 3463 = 68,91$$

$$i_{\text{N}_2} = 0,7278 \cdot 3265 = 2376,27$$

$$i_{2000} = 3599,4$$

Поскольку значение $i_0 < i_{2000}$, то действительная калориметрическая температура лежит в пределах $1900 \dots 2000^{\circ}\text{C}$ и может быть найдена интерполяцией [12]:

$$t_k = 1900 + \frac{3326,4 - 3157,26}{3599,4 - 3157,26} \cdot 100 = 1938^{\circ}\text{C}$$

Действительная температура горения [12]:

$$t_d = t_k \cdot \eta = 1938 \cdot 0,73 = 1415^{\circ}\text{C} \quad (6)$$

2.4 Расчет нагрева металла и тепловой расчет печи

Массивность тел определяется безразмерной величиной - критерием Био [12]:

$$B_i = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda}, \quad (7)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

S - характерный геометрический размер (ширина), м;

λ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$.

Дымовые газы, заполняющие рабочее пространство топливной печи, передают тепло лучеиспусканием ($\alpha_{\text{л}}$), и конвекцией ($\alpha_{\text{к}}$) нагреваемым изделиям и стенкам печи. Последние излучают тепло на изделие. Все эти процессы учитываются при определении коэффициента теплоотдачи [12].

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$B_i = \frac{(300+10) \cdot 0,36}{62} = 1,8$$

Т.к. $B_i > 0,5$, то изделие технологически массивное.

Определим время нагрева металла [12]:

$$\tau = \frac{G \cdot c}{q_n \cdot F} \cdot (t_m'' - t_m'), \quad (11)$$

где G – масса изделия;

F – тепловоспринимающая поверхность, m^2 ;

t_m'', t_m' – конечная и начальная температура металла, $^{\circ}C$;

c – теплоёмкость, $кДж/(m^3 \cdot град)$.

q_n – тепловой поток, $Вт/m^2$.

$$q_n = C_{np} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] + \alpha_k (T_n - T_m) \quad (12)$$

$$q_n = 4,4 \left[\left(\frac{1493}{100} \right)^4 - \left(\frac{1093}{100} \right)^4 \right] + 10(1493 - 1093) = 15,58 + 4000 = 4015,58 \frac{Вт}{m^2}$$

Садку составляют 80 блюмов со следующими размерами: ширина $a=300$ мм, высота $в=360$ мм, длина $l = 9000$ мм.

Найдем массу садки по формуле [12]:

$$G = n \cdot V \cdot \gamma = n \cdot a \cdot в \cdot l \cdot \gamma, \quad (13)$$

где a – ширина изделия, мм;

$в$ – высота изделия, мм;

l – длина изделия, мм

n – количество изделий в садке, шт;

γ – плотность металла, $кг/m^3$.

$$\gamma = 7820 \text{ кг}/m^3.$$

$$G = 1 \cdot 0,30 \cdot 0,36 \cdot 9 \cdot 7820 = 7601,04 \text{ кг}$$

										Лист
										54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.272.ПЗ					

$$\tau = \frac{608083,2 \cdot 682}{4015,58 \cdot 77,76} \cdot (820 - 20) = 13281c = 221_{мин} = 3,69ч$$

После достижения заданной температуры необходима выдержка для выравнивания температуры [12]:

$$\tau_{выд} = 0,2 \cdot \tau_{нагр} = 0,2 \cdot 3,69 = 0,74ч$$

$$\tau_{общ} = 3,69 + 0,74 = 4,43ч$$

Тепловой расчет печи сводится к составлению теплового баланса, который представляет собой уравнение, связывающее приход и расход тепла.

Приходные статьи:

1. Тепло, получающееся при сжигании топлива [12]:

$$Q_T = Q_H^p \cdot B, \text{ Вт} \quad (14)$$

где Q_H^p - низшая (рабочая) теплота сгорания топлива, кДж/м³ или кДж/кг;

B – расход топлива, м/с или кг/с.

$$Q_T = 37256,13 \cdot B, \text{ Вт}$$

2. Физическое тепло, вносимое подогретым воздухом [12]:

$$Q_{физВ} = B \cdot V_v \cdot c_v \cdot t_v, \text{ Вт} \quad (15)$$

где V_v – действительный расход воздуха, подаваемый для сжигания 1 м³ или 1 кг топлива;

c_v – средняя теплоемкость воздуха, кДж/(м³·К);

t_v – температура подогретого воздуха, °С.

$$Q_{физВ} = B \cdot 9,89 \cdot 1,3242 \cdot 350 = B \cdot 4583,7 \text{ кВт}$$

Расходные статьи:

1. Полезное тепло, затрачиваемое на нагрев металла [12]:

$$Q_M = П \cdot c_m \cdot (t_{mk} - t_{mn}), \text{ Вт} \quad (16)$$

где $П$ – производительность печи, кг/с

c_m – средняя теплоемкость металла в интервале температур, Дж/(кг·К);

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$\lambda_{Шамот} = 0,100 + 0,286 \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (20)$$

где t – температура среднего слоя.

$$\lambda_{кирпич} = 0,100 + 0,233 \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (21)$$

Для того, чтобы определить температуры слоев кладки, зададимся температурой наружной стенки печи и температурами на границе слоев кладки [12]:

$$t_{II} = 1220^0 C$$

$$t_{нар} = 50^0 C$$

$$t_{12} = 900^0 C$$

Определим средние температуры слоев кладки:

$$t_1 = \frac{t_{II} + t_{12}}{2} = \frac{1220 + 900}{2} = 1060^0 C \quad (22)$$

$$t_2 = \frac{t_{12} + t_{нар}}{2} = \frac{900 + 50}{2} = 475^0 C \quad (23)$$

Уточним полученные данные.

Тепловые потери через боковые стенки можно представить в виде:

$$Q_{см} = \frac{t_{II} - t_0}{R_1 + R_2 + R_{нар}}, \quad (24)$$

где $R_1, R_2, R_{нар}$ - тепловые сопротивления слоев кладки.

$$Q_{см} = \frac{1220 - 20}{0,01 + 0,028 + 0,001} = 30770 \text{ Вт}$$

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

$$t_{12} = t_{II} - Q_{см} \cdot R_1 = 1220 - 30770 \cdot 0,01 = 900^0 C$$

$$t_{нар} = t_{II} - Q_{см} \cdot (R_1 + R_2) = 1220 - 30770 \cdot (0,01 + 0,028) = 50^0 C$$

Расчет проведен правильно.

Рассчитаем потери тепла через свод. Для этого оценим внутреннюю $F_{вн}$ и наружную $F_{нар}$ площади кладки, а также площадь между отдельными слоями F_{12} и

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

средние площади отдельных слоев F_1 и F_2 [12].

$$F_{НАР} = 46 \cdot 11,3 = 519,8 м^2$$

$$F_{ВНУТР} = 38,5 \cdot 11,3 = 435,05 м^2$$

$$F_{12} = 9,6 \cdot 25,3 = 242,9 м^2$$

$$F_1 = \sqrt{435,3 \cdot 242,9} = 325,28 м^2$$

$$F_2 = \sqrt{242,9 \cdot 519,8} = 355 м^2$$

Зададимся температурой наружной стенки печи и температурами на границе слоев кладки:

$$t_{II} = 1220^0 C$$

$$t_{нар} = 60^0 C$$

$$t_{12} = 500^0 C$$

Определим средние температуры слоев кладки [12]:

$$t_1 = \frac{t_{II} + t_{12}}{2} = \frac{1220 + 500}{2} = 860^0 C$$

$$t_2 = \frac{t_{12} + t_{нар}}{2} = \frac{500 + 60}{2} = 280^0 C$$

Уточним полученные данные.

$$Q_{см} = \frac{1220 - 20}{0,018 + 0,01 + 0,001} = 41380 \text{ Вт}$$

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

$$t_{12} = t_{II} - Q_{см} \cdot R_1 = 1220 - 40380 \cdot 0,018 = 493^0 C$$

$$t_{нар} = t_{II} - Q_{см} \cdot (R_1 + R_2) = 1220 - 41380 \cdot (0,018 + 0,01) = 61^0 C$$

Полученные температуры отличаются не более, чем на $10^0 C$, значит расчет проведен верно.

Рассчитаем потери тепла через торцовые стенки.

Рассчитаем потери тепла через свод. Для этого оценим внутреннюю $F_{ВН}$ и наружную

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$F_{нар}$ площади кладки, а также площадь между отдельными слоями F_{12} и средние площади отдельных слоев F_1 и F_2 .

$$F_{НАР} = 3,76 \cdot 3,7 = 13,9 м^2$$

$$F_{ВНУТР} = 1,95 \cdot 2,36 = 4,6 м^2$$

$$F_{12} = 3,56 \cdot 3,45 = 12,3 м^2$$

$$F_1 = \sqrt{4,6 \cdot 12,3} = 7,52 м^2$$

$$F_2 = \sqrt{12,3 \cdot 13,9} = 13 м^2$$

Зададимся температурой наружной стенки печи и температурами на границе слоев кладки:

$$t_{II} = 1220^0 C$$

$$t_{нар} = 30^0 C$$

$$t_{12} = 320^0 C$$

Определим средние температуры слоев кладки:

$$t_1 = \frac{t_{II} + t_{12}}{2} = \frac{1220 + 320}{2} = 770^0 C$$

$$t_2 = \frac{t_{12} + t_{нар}}{2} = \frac{320 + 30}{2} = 175^0 C$$

Уточним полученные данные.

$$Q_{см} = \frac{1220 - 20}{0,15 + 0,05 + 0,001} = 5970 \text{ Вт}$$

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

$$t_{12} = t_{II} - Q_{см} \cdot R_1 = 1220 - 5970 \cdot 0,15 = 324^0 C$$

$$t_{нар} = t_{II} - Q_{см} \cdot (R_1 + R_2) = 1220 - 5970 \cdot (0,15 + 0,5) = 26^0 C$$

Полученные температуры отличаются не более, чем на $10^0 C$, значит расчет проведен верно.

Таким образом, тепло, теряемое в результате теплопроводности через свод и

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

стены печи, составило:

$$Q_{кл} = 2 \cdot 30770 + 2 \cdot 5970 + 41380 = 144860 \text{ Вт.}$$

1. Потери тепла излучением через открытые загрузочные и разгрузочные окна и другие отверстия в футеровки.

Расчет потерь тепла излучением в окружающую среду производится по формуле [12]:

$$Q_{луч} = C_0 \cdot \varphi \cdot \varepsilon \cdot F_{отв} \cdot \left[\left(\frac{T_{п}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{в}}{100} \right)^4 \right] \cdot \Delta \tau, \quad (25)$$

где ε – степень черноты излучаемого металла;

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

$$F_{отв} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ м}^2$$

$T_{в}$, $T_{п}$ – температура окружающего воздуха и печи соответственно, К;

$$\Delta \tau = \frac{\tau_{откр}}{\tau_{общ}} = 0,024 \text{ - доля времени, в течение которого открыто окно;}$$

φ - коэффициент диафрагмирования, зависящий от соотношения ширины и высоты отверстия и толщины стенки.

$$\varphi = 0,76.$$

$$Q_{луч} = 5,7 \cdot 0,76 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot \left[\left(\frac{1493}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,024 = 8769 \text{ Вт}$$

2. Потери тепла вследствие тепловых коротких замыканий, вызванных нарушением сплошности изоляции в тех местах, где через кладку проходят перемычки из более теплопроводных материалов [12].

$$Q_{отк} = 0,1 \cdot Q_{ст} = 0,1 \cdot 144860 = 14486 \text{ Вт} \quad (26)$$

3. Тепло, уносимое уходящими продуктами сгорания [12]:

$$Q_{пс} = B \cdot V_{пс} \cdot t_{пс} \cdot c_{пс} \cdot \text{Вт} \quad (27)$$

где $V_{пс}$ - количество продуктов сгорания на 1 кг или 1 м^3 топлива при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{м}^3$;

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.272.ПЗ				

$t_{пс}$ - температура уходящих дымовых газов, $^{\circ}\text{C}$;

$c_{пс}$ - теплоемкость уходящих дымовых газов, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

$$Q_{пс} = B \cdot 11,2 \cdot 1415 \cdot 682 = B \cdot 10808336 \text{Вт}$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$37256130B + 4583700B = 28761000 + 144860 + 8769 + 10808336B + 14486$$

$$31031494B = 28929115$$

$$B = 0,932$$

$B = 0,935 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход топлива.

Тепловой баланс рабочего пространства печи представлен в таблице 12.

Таблица 12 - Тепловой баланс рабочего пространства печи

Статьи прихода	%	Статьи расхода	%
Тепло, получающееся при сжигании топлива	89	Полезное тепло, затрачиваемое на нагрев металла	73,76
		Тепло, теряемое вследствие теплопроводности кладки печи	0,37
		Потери тепла излучением через открытые загрузочные и разгрузочные окна	0,02
Физическое тепло, вносимое подогретым воздухом	11	Потери тепла вследствие тепловых коротких замыканий	0,04
		Тепло, уносимое уходящими продуктами сгорания	25,81
ИТОГО	100	ИТОГО	100

С целью обеспечения возможности работы на худших сортах топлива и обеспечения форсированного нагрева металла, расход топлива равен [12]:

$$B_{\text{МАКС}} = k \cdot B, \tag{28}$$

где $k = 1, 2 \dots 2, 0$

$$B_{\text{МАКС}} = 1,5 \cdot 0,932 = 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

Коэффициент использования топлива определяется по формуле [12]:

$$\eta = \frac{Q_M}{Q_{\text{РАСХ}}} \cdot 100\%, \quad (29)$$

где Q_M - тепло, идущее на нагрев металла;

$Q_{\text{РАСХ}}$ - суммарные затраты тепла печью.

$$\eta = \frac{28761000}{38994721} \cdot 100\% = 73,76\%$$

Технологический коэффициент полезного действия рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{тех}} = 100 \cdot \frac{Q_M}{Q_H^g \cdot B_m} \quad (30)$$

$$\eta_{\text{тех}} = 100 \cdot \frac{7299,32}{37256,13 \cdot 0,935} = 20,9 \%$$

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башнин, Ю.А. Технология термической обработки стали / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424с.
2. ГОСТ Р 51685-2013. Издания. Рельсы Железнодорожные общие требования. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2014. –156 с.
3. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия Учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: ИКЦ Академкнига, 2005. – 768 с.
4. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением Издание второе, переработанное и дополненное / Н.П. Громов. – М.: Металлургия, 1978. – 360 с.
5. Полухин П.И. Прокатка и термическая обработка железнодорожных рельсов / П.И. Полухин, Ю.В. Грудина, Е.Я. Зарвин. – М.: Металлургия, 1962. – 431с.
6. Бернштейн М.Л. Технология термической обработки стали / М.Л. Бернштейн, Б.Е. Левина. – М.: Металлургия, 1981. – 608с.
7. Зуев В.М. Термическая обработка металлов: Учебник / В.М. Зуев. – 2-е изд. – М.: Высш. шк.; М.: Изд. центр Академия, 2001. – 288с.
8. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер – М.: Металлургия, 1985. – 408с.
9. ГОСТ 8233-56. Издания. Сталь. Эталоны микроструктуры – М.: Изд-во Стандартов Москва, – 1956. – 12 с.
10. СТО РЖД 1.15.004-2009. Объекты инфраструктуры железных дорог: Изд. НИИ мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта. 2009. –15с.
11. Ершов Е. Ф. Железные дороги мира / Е. Ф. Ершов // ежемесячный научно-технический журнал ОАО "Российские железные дороги". –2006. –№5. С. 27–32.
12. Рустем С.Л. Оборудование термических цехов / С.Л. Рустем – М.: Изд-во Машиностроение, – 1971. – 288 с.

					22.03.02.2018.272.ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		