

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

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, ( )

\_\_\_\_\_( )  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_(Винник Д.А.)  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Технология изготовления трубы из стали 09Г2С

(НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–22.03.02.2020.XXX.ПЗ ВКР

Руководитель работы, ( А.С. Созыкина)

\_\_\_\_\_( )  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ - 547

\_\_\_\_\_(Т.А. Баркина)  
\_\_\_\_\_ 2020г.

Нормоконтролер, (доцент)

\_\_\_\_\_( )  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Баркина Т.А. Технология изготовления  
трубы из стали 09Г2С—Челябинск:  
ЮУрГУ, 2020, 47с., библиографический  
список – 13 наименований .

В данной работе представлены технологические процессы изготовления холоднодеформированных сварных труб из стали 09Г2С. В ней приводятся особенности легирования и эксплуатационные требования к низкоуглеродистым трубным сталям. Также описана характеристика изделия из стали 09Г2С2, выплавка слитка из стали 09Г2С, обработка металлов давлением, назначен и обоснован выбор и параметры термической обработки, обеспечивающие получение требуемой структуры и свойств металла, приведён тепловой расчет индукционной печи.

					<b>220302.2020.633.00.00.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Баркина Т.А.			<i>Технология изготовления трубы из стали 09Г2С</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Созыкина А.С.					2	47
<i>Реценз.</i>						ЮУрГУ		
<i>Н. Контр.</i>						Кафедра ФМиФТТ		
<i>Утверд.</i>		Винник Д.А.						

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Характеристика изделия из стали 09Г2С.....	6
1.1 Химический состав стали 09Г2С.....	6
1.2 Характеристика стали 09Г2С.....	6
1.3 Техническая характеристика трубы из стали 09Г2С.....	7
1.4 Механические свойства трубы из стали 09Г2С.....	7
2 Выплавка слитка из стали 09Г2С.....	9
2.1 Химический состав чугуна.....	9
2.2 Производство стали.....	10
2.3 Сущность конвертерных процессов.....	10
2.4 Производство стали в кислородном конвертере.....	11
2.5 Принцип рационального легирования.....	13
2.6 Выплавка легированных сталей.....	13
2.7 Качество стали.....	14
3 Обработка металлов давлением.....	15
3.1 Нагрев металла перед прокаткой и нагревательные устройства.....	15
3.1.1 Температура нагрева стали перед прокаткой.....	15
3.1.2 Скорость нагрева металла.....	16
3.1.3 Температура металла в конце прокатки.....	17
3.1.4 Охлаждение стали после прокатки.....	17
3.1.5 Нагрев слитков.....	18
3.1.6 Нагрев заготовок.....	21
3.1.7 Прокатка труб на калибровочном стане.....	23
3.2 Сварка прямошовных труб.....	27
4. Обоснование термической обработки.....	29
4.1 Выбор и обоснование параметров термической обработки, обеспечивающих получение требуемой структуры и свойств.....	29

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

4.2 Контроль качества изделий после термообработки.....	32
4.3 Возможные виды брака и меры его предупреждения.....	34
4.4 Выбор оборудования.....	37
4.4.1 Выбор и описание выбранного оборудования.....	37
4.4.2 Тепловой расчет индукционной печи (установки).....	40
4.4.2.1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла для печей непрерывного действия.....	40
4.4.2.2 Потери тепла потерь тепла с охлаждающей водой.....	40
4.4.2.3 Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку установки.....	41
4.4.2.4 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно.....	43
4.4.2.5 Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями.....	44
Библиографический список.....	46
Приложение А Индукционная установка.....	47
Спецификация.....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Холоднодеформированные сварные трубы несмотря на различные способы изготовления, имеют одну и ту же область применения как трубы общего назначения. Сварные трубы благодаря освоению современной технологии удаления наружного и внутреннего грата и совместного воздействия холодной деформации и термической обработки по своим прочностным и технологическим свойствам не уступают бесшовным холоднодеформированным трубам, а по точности и качеству поверхности превосходят их.

Холоднодеформированные трубы бесшовные способны выдерживать большое внутреннее давление.

Холоднодеформированные трубы могут изготавливаться из сталей марок 10, 20, 35, 45, 15ХМ, и, по согласованию потребителем, из сталей других марок.

Основное качество холоднодеформированных труб — высокое качество наружной и внутренней поверхностей, а также повышенная несущая способность. Именно поэтому холоднодеформированные трубы находят применение в качестве основы для создания различных механизмов и машин.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТАЛИ 09Г2С

## 1.1 Химический состав стали 09Г2С

Труба из стали 09Г2С изготовлена из низкоуглеродистой, низколегированной стали. Химический состав стали 09Г2С: 0,09% С; 1,5% Mn; 0,5% Si-низколегированная;  $\leq 0,035\%$  S;  $\leq 0,035\%$  P- качественная, конструкционная сталь [13].

## 1.2 Характеристика стали 09Г2С

Низколегированная низкоуглеродистая сталь хорошо сваривается, она не образует при сварке холодных и горячих трещин, поэтому свойства сварного соединения и участков, прилегающих к нему, близки к свойствам основного металла. [2]

Легирующие элементы, растворяясь в феррите, уменьшая размер зерна и увеличивая склонность аустенита к переохлаждению, способствует измельчению карбидной фазы, поэтому низколегированная сталь по сравнению с углеродистой сталью обыкновенного качества имеет более высокие значения временного сопротивления и предела текучести при сохранении хорошей пластичности, а также менее склонна к старению и хладноломкости. [2]

Основными легирующими элементами стали 09Г2С является марганец и кремний. [2]

Для достижения высокой прокаливаемости сталь 09Г2С легирована дешёвым элементом — марганцем. [2] Наиболее сильно упрочняет сталь кремний. В связи с эти легированная сталь в нормализованном состоянии будет обладать большей прочностью, но меньшей пластичностью, чем углеродистая. [2].

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Так же эта сталь используется в широком диапазоне температур (от -70 и до +425<sup>0</sup>С). При этом металлоизделия не теряют своих характеристик. От соотношения наружного диаметра к толщине стенки (D/S) данная труба относится к тонкостенной группе (D/S=44,16 (от 20,1 до 50)). [3]

### 1.3 Техническая характеристика трубы из стали 09Г2С

Труба изготовлена из стали 09Г2С, толщина стенки 12 мм, диаметр 530 мм, длина 12м. Данная труба используется для трубопроводов: водогазопроводных, нефтепроводных.[3] Вид данной стальной трубы — сварной, профиль сечения— круглый, размер наружного диаметра >426 мм—большой размер.

### 1.4 Механические свойства трубы из стали 09Г2С

Данная труба является сварной трубой для магистральных трубопроводов, она прямошовная. [3]. В таблице 3 приведены механические свойства трубы из стали 09Г2С.

Таблица 1— Механические свойства трубы из стали 09Г2С [3]

Марка стали	Наружный диаметр, мм	Допускаемые отклонения по точности торцов труб, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	Ударная вязкость на образцах типа 1, кДж/м <sup>2</sup>		
					Температура испытаний, °С	Осн о-вной ме-талл	М е-талл шва
09Г2С	530	±2,5	500	350	-70	300	250

Поскольку главные районы добычи нефти и газа расположены на Севере, а основные потребители—в Центре и на Западе России, возникла необходимость сооружения сети мощных подземных магистральных трубопроводов большой протяжённости. Сложные геологические и климатические условия, высокие требования к надёжности труб при эксплуатации предъявляют повышенные требования к их прочностным и пластическим характеристикам. [3]

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2 ВЫПЛАВКА СЛИТКА ИЗ СТАЛИ 09Г2С

### 2.1 Химический состав чугуна

Чугун—важнейший первичный продукт, используемый для передела, при производстве стали и как компонент шихты при вторичной плавке в чугунолитейном производстве.

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо и флюсы. Железные руды содержат железо в различных соединениях:

- магнитный железняк — более 70% в виде магнетита  $Fe_3O_4$ ;
- красный железняк— 55—60% Fe в виде гематита  $Fe_2O_3$ ;
- бурый железняк (лимонит) — 35—55% Fe в виде смеси гидроксидов трёхвалентного железа  $2 Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  и  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ;
- шпатовый железняк — до 40% Fe в виде  $FeCO_3$ . [4]

Сущность процесса получения чугуна заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды. Те элементы, которые образуют более прочные соединения с кислородом, чем с восстанавливаются на 75-90%, Mn—на 40—75%, Si и T— в небольших количествах. Al, Mn и Ca не восстанавливаются. [4]

Одним из основных продуктов доменного производства является передельный чугун, который выплавляют для передела его в сталь в конверторах или мартеновских печах; содержит 4,0—4,4%С; до 0,6—0,8% Si; до 0,25—1,0% Mn; 0,07—0,3% P и 0,03—0,07% S. [4] Такой передельный чугун применяют для производства стали 09Г2С с последующим изготовлением из ней труб, используемых для трубопроводов различного назначения.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

## 2.2 Производство стали

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей в процессе плавки передельного чугуна и стального лома (скрапа). В результате окислительных реакций, углерод в виде CO выделяется в атмосферу. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют оксиды, или другие соединения не растворимые, или мало растворимые в жидком металле ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaS}$  и др.), который в процессе плавки частично удаляется в шлак. Однако в полной мере окислить примеси не удаётся, т.к. по мере снижения содержания примесей начинают окисляться железо, насыщая металл кислородом.

Сталь, содержащая кислород, не пригодна для обработки давлением (ковка, прокатка), т.к. в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии. Для уменьшения содержания кислорода в процессе плавки сталь раскисляют, вводя элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом жидкой стали, эти элементы образуют не растворимые оксиды (не металлические включения), частично всплывающие в шлак. Для раскисления используют ферросплавы— ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Раскисление является завершающим этапом выплавки стали. [4]

## 2.3 Сущность конвертерных процессов

Принцип получения стали в конверторе состоит в продувке жидкого чугуна кислородом с использованием ограниченного количества стального лома.

Сущность процесса в том, что в конвертер представляющий собой футерованный огнеупорным кирпичом грушеобразный сосуд, заливают порцию жидкого чугуна массой от 10 до 400т. Сверху в конвертер опускают трубу— фурму, через которую подают чистый кислород. При продувке кислородом происходит окисление углерода и других примесей, содержащихся в чугуне. Повышается температура металла. Расплавляется стальной лом, добавляемый в

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

конвертер. При окислении углерода, и других примесей частично железа происходит выделение тепла, которое обеспечивает повышение температуры расплава и позволяет расплавлять стальной лом до 25% от общей массы металла, вводимый в конвертер. После выпуска металла в ковш производится окончательная доводка состава металла до заданного. [1]

## 2.4 Производство стали в кислородном конвертере

Кислородный конвертер представляет собой стальной сосуд грушевидной формы, выложенный изнутри основным кирпичом ёмкостью 130—150 т. жидкого чугуна. На рисунке 1 приведено производство стали в кислородном конвертере.

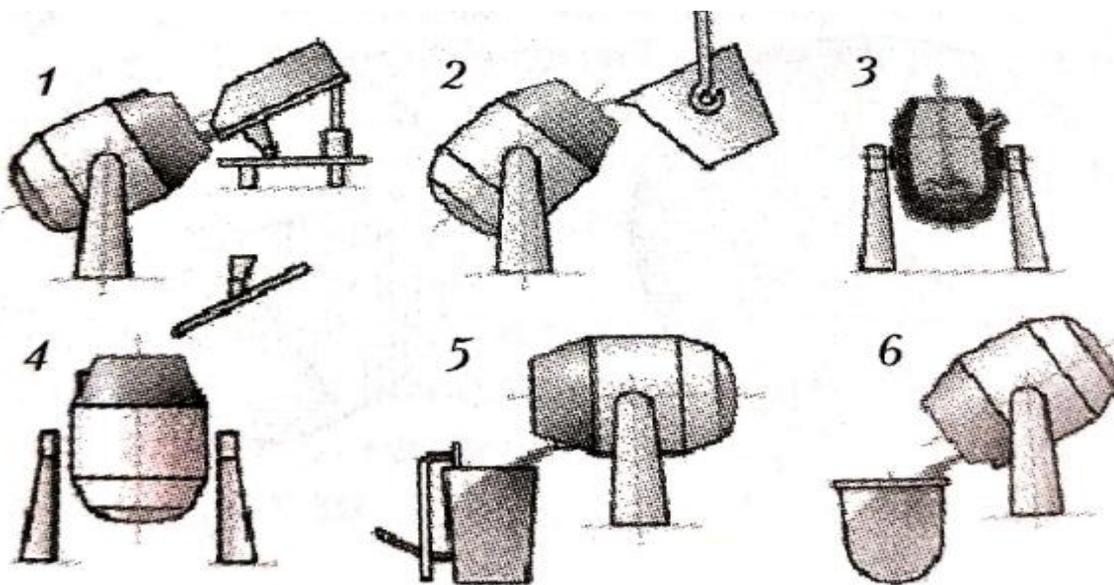


Рисунок 1—Производство стали в кислородном конвертере: 1—загрузка стального скрапа; 2—заливка чугуна; 3—продувка кислородом; 4—загрузка извести и железной руды с началом продувки и по ходу плавки; 5—выпуск стали; 6—слив шлака. [4]

В процессе работы конвертер можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на  $360^{\circ}$  для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали, шлака и т.д.

Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер под давлением  $0,9—1,4 \text{ МН/м}^2$  подают с помощью водо—охлаждаемой фурмы, которую вводят в конвертер через его

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

горловину. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертора и конвертор нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма. Шихтовыми материалами для конверторного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат. Чугун для переработки в кислородных конверторах содержит 3,7—4,4%С; 0,7—1,1%С Mn; 0,4—0,8%Si; 0,03—0,08%S; до 0,15—0,3%P. Известь должна содержать более 90% СаО и минимальное количество серы. Боксит и плавиковый шпат применяют для разжижения шлака.

После выпуска очередной плавки конвертор наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом, заливают чугун при температуре 1250—1400<sup>0</sup>С из чугуновозных ковшей. Затем его поворачивают в вертикальное рабочее положение, внутрь вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом продувки в него загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду).

Струи кислорода, поступающие под большим давлением, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конверторе и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400<sup>0</sup>С.подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали и производят выпуск стали в ковш.

При выпуске стали в ковш её раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Производительность конвертора ёмкостью 300 т. достигает 400—500т/ч стали. В кислородных конверторах выплавляют углеродистые и низколегированные стали, содержащие до 2—3% легирующих элементов. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. [4]

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

## 2.5 Принцип рационального легирования

Легированные стали, кроме обычных примесей содержат элементы, специально вводимые в определённых количествах для обеспечения требуемых свойств, эти элементы называются легирующими. [4]

Минимальное количество легирующих элементов в стали должно обеспечивать необходимые механические свойства, прокаливаемость, температурный порог хладноломкости.

Основное назначение легирующих элементов в конструкционной стали 09Г2С:

—марганец (до 2 %) растворяется в феррите, упрочняя твёрдый раствор и повышая свойства прочности, снижает красноломкость, увеличивает прокаливаемость. Однако, марганец повышает порог хладноломкости, способствует росту зерна при нагреве, что может отрицательно сказаться на эксплуатационных свойствах стали;

—кремний (до 2 %) растворяется в феррите, значительно упрочняя его и сохраняя при этом вязкость, повышает предел усталости, снижает чувствительность к надрезу, способствует повышению свариваемости, штампуемости. В сталь вводится в сочетании с другими элементами. [4]

## 2.6 Выплавка легированных сталей

Используя преимущества конвертерного процесса (бурное кипение, быстрое регулирование температуры), можно его применять для получения легированных сталей. Основной трудностью при этом является введение лёгкоокисляющихся элементов во время продувки. В марке стали 09Г2С к таким элементам относятся кремний и марганец.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Применяют следующие методы легирования:

1. Легирование в ковше добавками, предварительно расплавленными в электропечи. Недостатком метода является необходимость установки дополнительного оборудования в цехе.

2. Добавки ферросплавов в конвертер. Поскольку для расплавления ферросплавов требуется выдержка, то происходит переохлаждение металла. Поэтому количество вводимых добавок ограничено (3—4%) и требует слива большей части шлака перед введением ферросплавов для уменьшения рефосфорации.

В связи с развитием внепечной металлургии основным способом выплавки легированных сталей в конвертере является способ легирования в ковше с последующим подогревом стали на установке внепечной обработки. [4]

## 2.7 Качество стали

Свойства стали, выплавляемой в конвертерах определяются содержанием примесей кислорода, азота, серы, фосфора, водорода и неметаллических включений. Содержание кислорода в конвертерной стали зависит от способа раскисления. При использовании для продувки кислорода чистотой 99,5%, в стали содержится до 0,005% азота.

Производство конвертерной стали характеризуется высокой производительностью агрегатов и высокой производительностью труда. [4]

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

## 3 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

### 3.1 Нагрев металла перед прокаткой и нагревательные устройства

На станах горячей прокатки пластической деформации подвергается 80% всей выплавляемой стали. Горячая деформация является основным видом обработки. Горячая прокатка требует меньших усилий и, следовательно, меньших затрат электроэнергии. Повышенная пластичность при горячей прокатке позволяет за один передел получать значительное уменьшение площади поперечного сечения, то есть процесс является эффективным. Слитки, обладающие большой структурной и химической неоднородностью, могут быть пластически деформированы только в горячем состоянии. Качество готового проката в существенной степени определяется режимом горячей обработки металлов давлением. [1]

#### 3.1.1 Температура нагрева стали перед прокаткой

Горячая прокатка металлов и сплавов производится при нагреве выше температуры рекристаллизации; для стали температура нагрева составляет  $0,8 \cdot T_{пл}$  ( $T_{пл}$  — температура плавления по абсолютной шкале). Для малоуглеродистой стали 09Г2С температура горячей прокатки должна быть не ниже  $t = 0,8 \cdot (273 + 1530) = 1442\text{K} \text{—} 1169^{\circ}\text{C}$ . Чем выше температура нагрева металла под прокатку, тем меньше деформирующее усилие и выше пластичность. [1]

Однако чрезмерно повышать температуру нагрева не рекомендуется. При температуре нагрева, близкой к температуре плавления стали, наблюдается быстрый рост зёрен, что приводит к снижению пластичности и разрушению металла при небольших деформациях.

При повышенной температуре нагрева стали в окислительной атмосфере наблюдается явление пережога-окисление границ зёрен, что также приводит к

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

разрушению металла. Пережог происходит тем легче, чем выше температура металла и чем больше окисленный потенциал атмосферы печи. При пережоге происходит перераспределение серы, фосфора, кремния между аустенитом и жидкой фазой, образующейся на границах зёрен при подплавлении межзёренного вещества. Межзёренное вещество обогащается указанными элементами, пластичность его снижается.

Температура нагрева заготовок из стали различного химического состава разная. Чем выше содержание углерода, тем ниже температура нагрева стали. Наибольшая температура нагрева под прокатку  $1350^{\circ}\text{C}$  допускается для низкоуглеродистой стали ( $<0,1\% \text{C}$ ). [1] Температура нагрева под прокатку для стали 09Г2С должна быть  $1350^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.2 Скорость нагрева металла

Качество готового проката зависит от общей продолжительности нагрева металла в печи и скорости нагрева. Одним из основных требований, предъявляемых к нагреву, является равномерность распределения температуры по сечению заготовки. Равномерность нагрева заготовок можно обеспечить длительной выдержкой металла в печи.

Однако длительная выдержка при температуре  $>800^{\circ}\text{C}$  связана с образованием окалины, обезуглероживанием. Ускоренный нагрев для ряда сталей также нежелателен. Например, при нагреве высоколегированных сталей в результате недостаточного внутреннего теплообмена образуются трещины по сечению заготовок, которые приводят к браку металла или снижению его механических свойств.

Практически установлена длительность нагрева слитков от 2 до 12 часов. Скорость нагрева зависит также от сечения нагреваемого металла. В заводских инструкциях по нагреву приводятся таблицы групп марок сталей с указанием удельной продолжительности нагрева. [1]

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

220302.2020.633.00.00.ПЗ

### 3.1.3 Температура металла в конце прокатки

В процессе прокатки металл теряет тепло, и температура его снижается. Кроме того, необходимо учитывать также, что на непрерывных прокатных станах металл прокатывается в одном направлении и передний конец полосы деформируется при более высокой температуре, а задний конец— при более низкой температуре. Отмеченное имеет важное значение и должно учитываться при выборе температуры и режима нагрева стали под прокатку.

Температура металла в последнем проходе и после прокатки существенно влияет на механические свойства готового проката. Горячая прокатка сталей заканчивается при температурах выше 900—950<sup>0</sup>С. При указанной температуре в последнем проходе зёрна металла получают мелкими, что определяет высокую пластичность стали и требуемые прочностные свойства. Температура конца прокатки влияет и на размеры готового проката. Как правило, высота заднего конца прокатываемой полосы, имеющего меньшую температуру, получается больше высоты переднего конца. С понижением температуры металла увеличивается его сопротивление деформации, что определяет повышение усилия прокатки и увеличение расстояния между валками в результате упругой деформации рабочей клетки прокатного стана. [1]

### 3.1.4 Охлаждение стали после прокатки

Режим охлаждения существенно влияет на качество готового проката и его расход. Большинство легированных сталей не допускает быстрого охлаждения.

В процессе быстрого охлаждения в стали образуются поверхностные и внутренние трещины (флокены). Поверхностные трещины обнаруживаются визуально; флокены наблюдаются в продольном и поперечном сечениях после травления, где они обнаруживаются в виде радиальных и продольных трещин. Предотвратить развитие трещин и флокенов можно правильным выбором режима

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

охлаждения стали. При медленном охлаждении происходит выравнивание температуры проката по сечению и уменьшаются термические напряжения.

Причиной образования флокенов являются не только химические напряжения в объёме металла. Образованию флокенов способствуют напряжения, возникающие вследствие неодновременности различных фазовых превращений в стали, образования структур с большим удельным объёмом, накопления водорода, развивающего большое давление. Медленное охлаждение существенно ослабляет все виды напряжений и тем самым уменьшает опасность флокенообразования. Рядовые стали охлаждают на воздухе.

Скорость охлаждения стали после прокатки определяет количество окалины, образующейся на поверхности изделий. С увеличением содержания углерода с 0,10 до 0,70% величина потерь металла в виде окалины составляет соответственно 3,30—2,30% при охлаждении на воздухе. При охлаждении металла после прокатки водой или водяной пылью потери в виде окалины не превышают 1,5%. [1].

### **3.1.5 Нагрев слитков**

Для нагрева слитков в цехе блюминга (слябинга) устанавливают нагревательные колодцы. По сравнению с другими нагревательными устройствами нагревательные колодцы обладают следующими преимуществами: вертикальное расположение слитков при нагреве обеспечивает правильную кристаллизацию ещё не остывшей сердцевины; обеспечивается равномерный нагрев всех сторон слитка; загрузка и выгрузка тяжеловесных слитков осуществляются мостовыми кранами, что так же удобно производить при вертикальном расположении слитков.

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2020.633.00.00.ПЗ				

Масса и форма слитков зависят от химического состава стали, мощности оборудования и вида проката. Заготовкой для проката листов являются слябы. При прокатке на слябы слитки имеют большую массу (16—30т) и прямоугольную в поперечном сечении форму.

Планировка отделения нагревательных колодцев современного высокопроизводительного прокатного стана показан на рисунке 2. В отделении длиной 200—400 м устанавливается от 10 до 12 групп нагревательных колодцев 1. Группа состоит из двух—четырёх колодцев прямоугольной формы в плане. Отделение нагревательных колодцев непосредственно примыкает к пролёту обжимного стана.

Нагретые в колодце слитки подаются к прокатному стану слитковозами 2, которые движутся по кольцевому рельсовому пути. Для подвоза слитков из сталеплавильного цеха предусмотрен железнодорожный путь 3. Разгрузка слитков с железнодорожных платформ, посадка в колодцы, выгрузка нагретых слитков и установка их на слитковоз обеспечивается мостовым краном 4 с клещевым захватом.

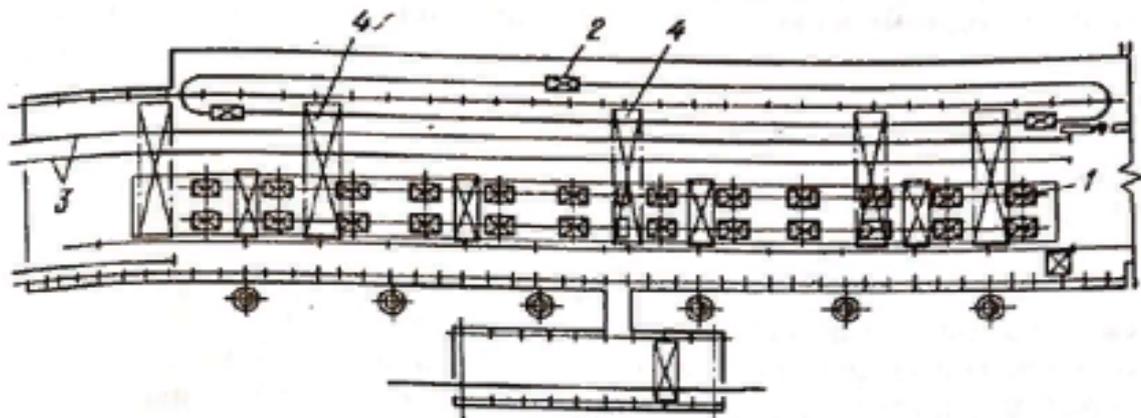


Рисунок 2— Участок нагревательных колодцев с кольцевой слиткоподачей



рекуператоры, расположенные с обеих сторон каждой камеры. Теплом отходящих газов в керамических рекуператорах нагревают воздух, необходимый для сжигания газа, до 850, а газ — до 350<sup>0</sup>С в металлических рекуператорах, установленных после керамических.

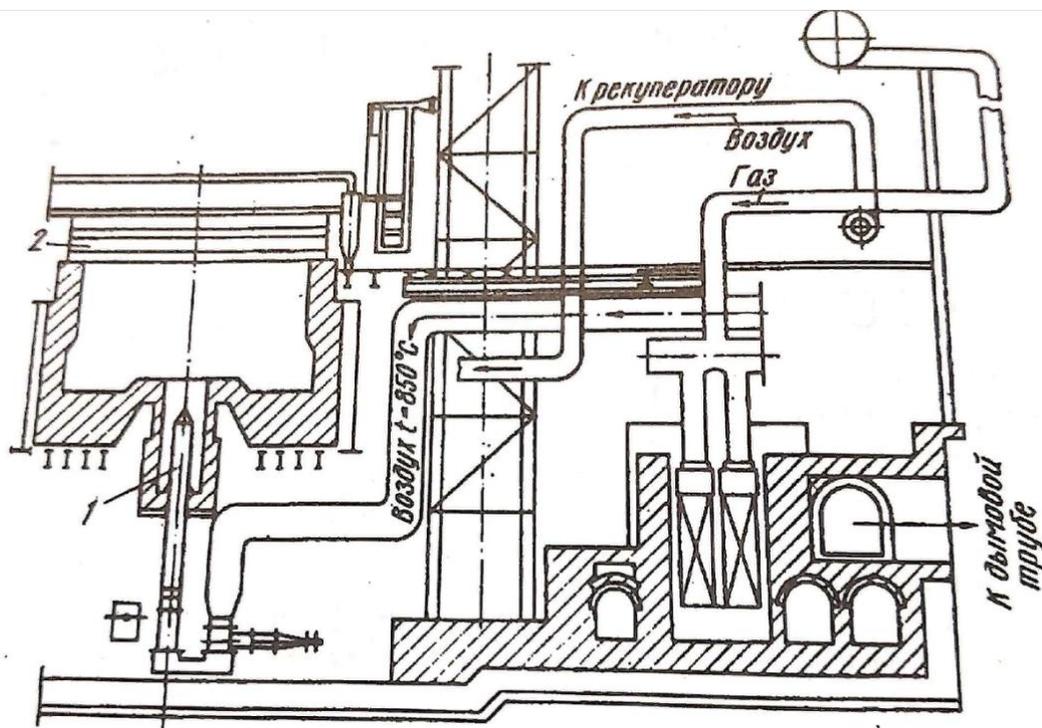


Рисунок 4— Рекуперативный колодец с центральной горелкой [1]

### 3.1.6 Нагрев заготовок

Исходным материалом для прокатки сортовой стали являются заготовки в основном квадратного сечения различных размеров. Масса и размеры поперечного сечения заготовок для каждого прокатного стана определяются в зависимости от размеров и формы готового проката, техническими данными основного и вспомогательного оборудования прокатного стана. Линейные размеры заготовки, масса и химический состав стали являются исходными данными для выбора технологии прокатки и определения параметров нагревательных методических печей и их конструкций.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата









Продолжение таблицы 4

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
6 Привод валков		Индивидуальный от электродвигателя
7 Мощность электродвигателя	кВт	160
8 Частота вращения электродвигателя	об/мин	500/1500
9 Передаточное отношение редуктора		44
10 Максимальная частота вращения валков	об/мин	34
11 Диаметр готовых труб	мм	245—550
12 Толщина стенки труб	мм	8—72
13 Процесс прокатки		Прерывный, без натяжения

Окончание таблицы 4

На рисунке 5 представлен эскиз клеток калибровочного стана.

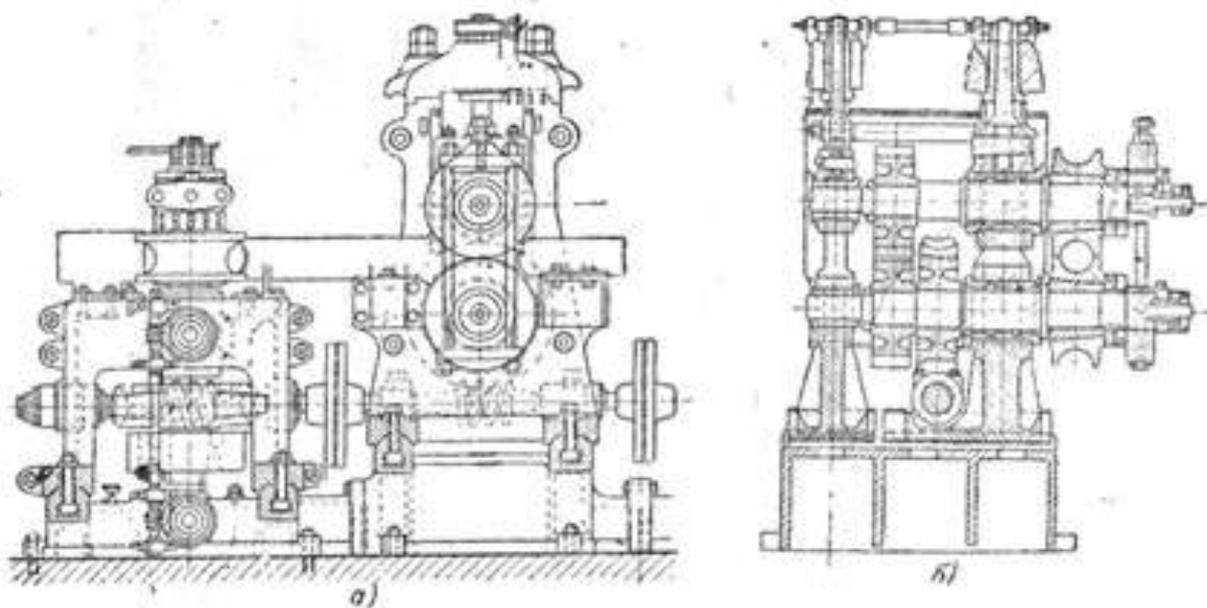


Рисунок 5— Вид сбоку (а) и спереди (б) клеток калибровочного стана

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

220302.2020.633.00.00.ПЗ

Лист

26

### 3.2 Сварка прямошовных труб

Высокочастотная сварка давлением с предварительным нагревом и местным расплавлением свариваемых поверхностей нашла наибольшее применение в производстве прямошовных труб малого и среднего диаметров. В 1975 г. методом высокочастотной сварки в СССР ежедневно изготовлялось более 3 млн. м сварных труб из углеродистых и нержавеющей сталей, сплавов алюминия, меди и титана диаметром от 10 до 530 мм с толщиной стенки от 5 до 10 мм.

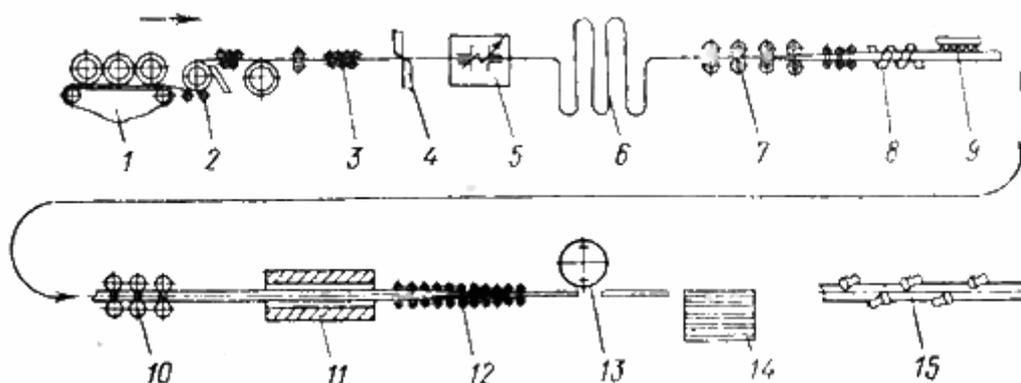


Рисунок 6— Схема агрегата для производства прямошовных труб

Изготовление труб на трубоэлектросварочном агрегате

Принципиальная схема агрегата для высокочастотной сварки прямошовных труб приведена на рисунке 6. Лента в рулонах поворотным краном подается на конвейер 1 и разматыватель 2, затем правится в валково машине 3 и после обрезки концов с помощью ножниц 4 сваривается в непрерывную ленту на стыкосварочной машине 5.

Образовавшийся при сварке грат удаляется гратоснимателем. Петлеобразователь 6 предназначен для создания запаса ленты перед формовочным станом и обеспечения непрерывного процесса производства труб во время обрезки и сварки концов ленты и снятия грата. Приводными тянущими роликами лента подается к формовочному стану 7. В некоторых случаях перед формовкой кромки ленты обрезаются на дисковых ножницах.

Формовочный стан состоит из горизонтальных и вертикальных клеток. Сформованная трубная заготовка поступает в сварочную машину 8, где производится нагрев кромок и формирование сварного соединения. Наружный грат снимается гратоснимателем резцового типа. Сваренные трубы охлаждаются до температуры 50—60° С в холодильнике 9 водовоздушной смесью, которая подается на поверхность труб через систему сопел. Окончательная калибровка трубы по диаметру осуществляется на стане 10, каждая клетка которого состоит из пары горизонтальных и пары вертикальных валков: горизонтальные — приводные, вертикальные — не приводные.

Продольная кривизна труб устраняется в правильной клетке, имеющей две последовательно расположенные четырехвалковые обоймы. В дальнейшем труба поступает или в редуцирующий стан 12, пройдя нагрев в индукционной печи 11 и резку на летучей пиле 13, или на трубоотрезной станок, а затем на участок отделки 14, 15. При локальной нормализации шва индукционный нагреватель размещается непосредственно после гратоснимателя [6].

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

## 4 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

В исходном состоянии после горячей прокатки микроструктура стали 09Г2С представляет собой феррито — перлитную структуру.

Достижение свойств, соответствующих требованиям к изготавливаемому изделию, возможно лишь за счет упрочняющей термической обработки. Термическая обработка является важнейшей составляющей в современной технологии производства труб. Для получения труб высоких групп прочности с сохранением достаточных пластических характеристик и необходимой ударной вязкости при пониженных температурах их подвергают термической обработке, включающей закалку и высокий отпуск.

### 4.1 Выбор и обоснование параметров термической обработки, обеспечивающих получение требуемой структуры и свойств

Диаграмма распада переохлажденного аустенита выглядит в виде С—образных кривых. Одна кривая характеризует начало распада переохлажденного аустенита, другая характеризует полный распад аустенита.

Выбор режимов термообработки проводится на основании диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита. Диаграмма изотермического превращения аналогичной марки стали 08Г2С приведена на рисунке 7.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Сталь типа 08Г2С [62]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	t <sub>H</sub>
0,09	0,88	2,00	0,17	0,24	710	830	365	930

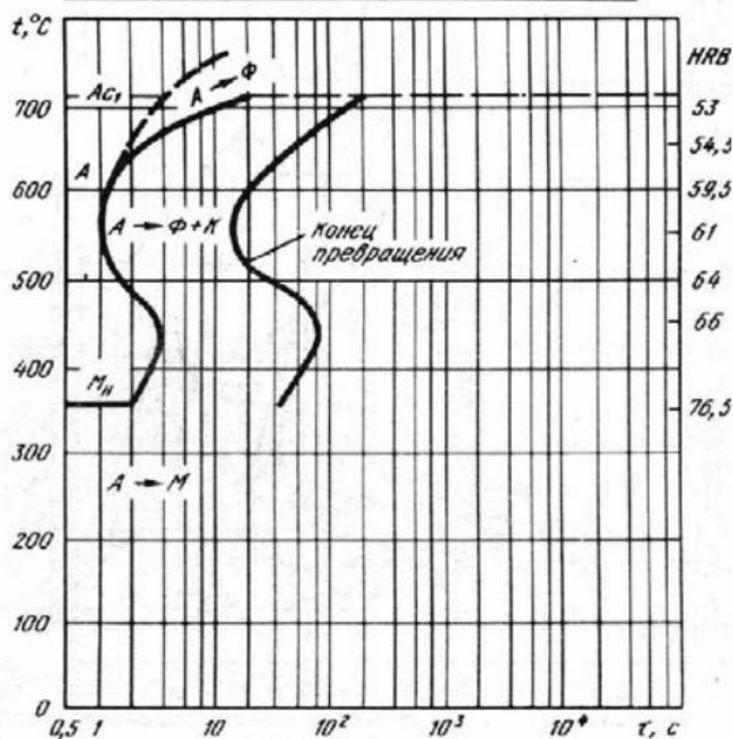


Рисунок 7 – Диаграмма изотермического распада стали 08Г2С [8].

Марка стали 09Г2С имеет следующие критические точки:

- $A_{c1} = 732 \text{ } ^\circ\text{C}$  — аустенит превращается в перлит процессах охлаждения;
- $A_{c3} = 870 \text{ } ^\circ\text{C}$  — конец растворения цементита;
- $A_{r3} = 854 \text{ } ^\circ\text{C}$  начало выделения  $\text{Fe}_3\text{C}$ ;
- $A_{r1} = 680 \text{ } ^\circ\text{C}$  образование перлита при охлаждении.

$$V_{\text{вкз}} = A_1 - t_{\text{min}} / 1,5 \cdot \tau_{\text{min}} = 710 - 550 / 1,5 \cdot 1 = 106,7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{сек.}$$

Для обеспечения заданного уровня механических свойств и требуемой структуры необходимо произвести закалку с температуры аустенитизации  $A_{c3} + 30-50 \text{ } ^\circ\text{C} = 870 + 30-50 = 900 - 920 \text{ } ^\circ\text{C}$

Время выдержки 30 минут с последующим отпуском при температуре  $570 \text{ } ^\circ\text{C}$  в течение 1 часа с охлаждением в воде.

Мартенситное превращение происходит только в том случае, если быстрым охлаждением аустенит переохлажден до низких температур, при которых невозможны диффузионные процессы. Скорость охлаждения для стали 09Г2С, обеспечивающая получение мартенситной структуры, это охлаждение в воде в течение 1 часа.

После закалки необходимо произвести высокий отпуск для снятия закалочных напряжений и обеспечения заданного уровня твердости и механических свойств. Увеличение температуры отпуска с 500 до 600 °С приведет к снижению прочностных и увеличению пластических характеристик. Это связано с повышением степени сфероидизации карбидных включений в структуре сорбита отпуска. Охлаждение после отпуска — на воздухе.

Свойства стали 09Г2С: сталь 09Г2 после термообработки имеет повышенный предел выносливости; одновременно примерно в 3—3,5 раза увеличивается число циклов до разрушения в области малоциклового усталости. Упрочнение создают участки мартенсита: каждый 1 % мартенситной составляющей в структуре повышает временное сопротивление разрыву примерно на 10 МПа независимо от прочности и геометрии мартенситной фазы. Разобшенность мелких участков мартенсита и высокая пластичность феррита значительно облегчают начальную пластическую деформацию. Технологическая пластичность позволяет применять их для листовой штамповки деталей достаточно сложной конфигурации, что является преимуществом этих сталей перед другими высокопрочными сталями. Удовлетворительно свариваются методом точечной сварки. Режим термической обработки приведен на рисунке 8.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

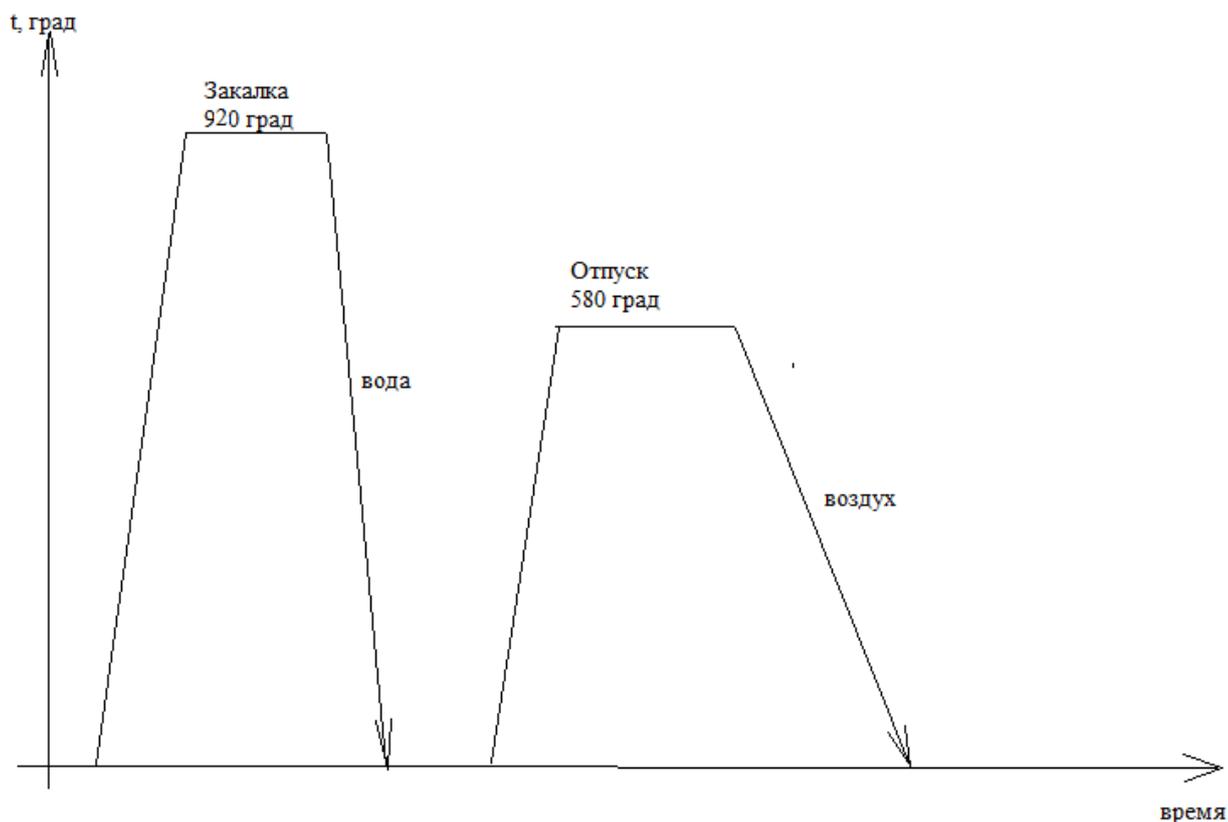


Рисунок 8– Выбранный режим термообработки

#### 4.2 Контроль качества изделий после термообработки

Контролю качества изделий после термообработки подвергаются трубы после правки. Контролю трубы подвергаются партиями. Партия состоит из труб одного размера по диаметру и толщине стенки, одной марки стали, одного вида термообработки. Количество партии составляет до 400 шт [9].

Объем приемо — сдаточных испытаний труб приведен в таблице 5.

При оценке макроструктуры металла проводят контроль на отсутствие флокенов, расслоений, внутренних трещин, закалочных трещин, корочек, пятнистой ликвации, инородных и шлаковых включений. Механические свойства при растяжении, ударная вязкость должны соответствовать данным таблицы 1.

Сплошной контроль проводят на каждой трубе по следующим показателям:

—качество поверхности на отсутствие видимых наружных дефектов (раскатанных загрязнений, трещин, рванин, закатов, вмятин и др.)

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2020.633.00.00.ПЗ					

- основные размеры и форма поперечного сечения;
- длина;
- прямолинейность;
- скручивание;
- наличие и полнота маркировки.

Гидравлические испытания труб производят на специальных стендах заполнением водой, подаваемой под давлением.

Таблица 5 – Приемо — сдаточные испытания

Показатель качества рельсов	Объем выборки
Химический состав стали	Одна труба от партии
Определение углеродного эквивалента	Одна труба от партии
Макроструктура	Две трубы от партии
Микроструктура (величина зерна, загрязненность неметаллическими включениями)	Две трубы от партии
Контроль твердости	2 %
Механические свойства при растяжении	Две трубы от партии
Ударная вязкость при минус 50 °С	Две трубы от партии
Доля вязкой составляющей на ударных образцах	Две трубы от партии
Гидравлические испытания	Каждая труба
Размеры трубы (диаметр, длина и толщина стенки), разностенность, овальность	Каждая труба
Качество поверхности	Каждая труба
Испытания стойкости к коррозии	Две трубы от партии

Продолжение таблицы 5

Показатель качества рельсов	Объем выборки
Испытание на сплющивание	Две трубы от партии

Окончание таблицы 5

### 4.3 Возможные виды брака и меры его предупреждения

При проведении термообработки возможен брак. Виды брака, причины его возникновения и меры по его предупреждению указаны в таблице 6 [10].

Таблица 6 – Виды брака после улучшения

№ п/п	Вид брака	Причина	Меры предупреждения
1	Наличие трещин на поверхности труб	Раскрытие внутренних трещин металла	Повышение качества исходного металла
		Быстрый нагрев при закалке	Осуществление подогрева перед закалкой
		Быстрое охлаждение	Снизить скорость охлаждения
		Большой временной разрыв между закалкой и отпуском	Выполнение отпуска непосредственно после закалки
2	Непрямолинейность труб, недопустимое их скручивание	Быстрый нагрев при закалке	Осуществление подогрева перед закалкой
		Быстрое охлаждение	Снизить скорость охлаждения

Продолжение таблицы 6

№ п/п	Вид брака	Причина	Меры предупреждения
3	Обезуглероживание	Завышенное время выдержки	Соблюдение режима термообработки
4	Наличие вмятин на поверхности изделий	Неаккуратная выгрузка изделий в горячем виде.	Аккуратная выгрузка изделий в горячем виде
5	Повышенная твердость металла	Низкая температура отпуска	Соблюдение режима термообработки
		Малая выдержка при отпуске	
		Повышенная скорость охлаждения при закалке	
6	Пониженная твердость металла	Низкая температура закалки	Соблюдение режима термообработки
		Медленное охлаждение при закалке	
		Перегрев при отпуске	
		Малая выдержка при закалке	

Продолжение таблицы 6

№ п/п	Вид брака	Причина	Меры предупреждения
7	Пятнистая твердость металла	Малая выдержка при закалке или отпуске	Соблюдение режима термообработки.
		Образование паровых пузырей у поверхности детали при закалке в воде	Интенсивное перемешивание воды, перемещение детали в воде
8	Крупнозернистая структура металла	Перегрев металла	Соблюдение режима термообработки.
		Завышенная выдержка при закалке	
9	Оплавление	Перегрев	Соблюдение режима термообработки.
		Неправильное расположение изделия при нагреве	Правильное расположение изделий относительно нагревателей

Окончание таблицы 6

## 4.4 Выбор оборудования

### 4.4.1 Выбор и описание выбранного оборудования

Для проведения закалки и отпуска труб выбираем индукционную установку ОКБ-852. Индукционная закалка – наиболее дешевое и технически совершенное средство для поверхностного упрочнения и повышения твердости труб. Индукционный нагрев обеспечивает высокую производительность, экономичность, автоматизацию производства. Индукционный нагрев с последующей закалкой является одним из наиболее совершенных и рациональных методов упрочнения стальных изделий [11].

Индукционная установка позволяет проведение сразу двух последовательных операций – закалки и отпуска в один проход.

Индукционная установка состоит из следующих узлов:

- загрузочный стеллаж;
- механизм сбрасывания труб;
- задающий рольганг;
- закалочный индуктор –нагреватель;
- промежуточный ролик;
- закалочный индуктор – термостат;
- промежуточный ролик;
- спрейерное устройство для охлаждения труб;
- промежуточный ролик;
- отпускной индуктор –нагреватель;
- промежуточный ролик;
- отпускной индуктор – термостат;
- выходной рольганг;
- механизм выбрасывания труб;
- охлаждающий стеллаж;

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2020.633.00.00.ПЗ					



индуктора – термостата – 2200 мм. Параметры термообработки труб приведены в таблице 7.

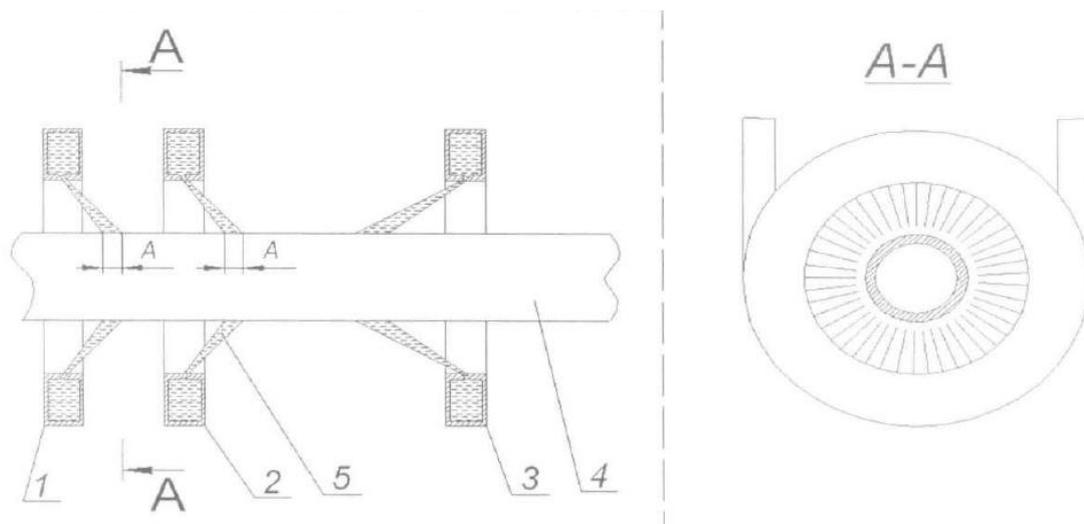


Рисунок 9 – Схема подачи воды на поверхность трубы

1 и 2 – кольца щелевого типа для подачи воды по направлению движения трубы; 3 – кольцо щелевого типа для подачи воды в направлении противоположном движению трубы; 4 – труба; 5 – струя воды.

Таблица 7 – Параметры термообработки труб

Температура металла труб, °С	Закалка с МКИ,	Отпуск	Расход воды при закалке	Скорость движения труб
в индукторе-нагревателе	850-920	620-60	120 м <sup>2</sup> /ч	1 м / мин
в индукторе-термостате	900-920	560-600		
перед спреером	900-920	-		
охлаждение	вода	воздух		

Индуктор выполняется из медной трубки прямоугольного сечения, который охлаждается водой. Индуктор представляет собой соленоид, залитый в огнеупорную пористую массу.

Масса 1 м трубы диаметром 530 мм толщиной стенки 12 мм – 153,3 кг. При скорости движения трубы 1 м / мин часовая производительность индукционной установки – 9198 кг (60 м/ч).

#### 4.4.2 Тепловой расчет индукционной печи (установки)

Тепловой расчет индуктора сводится к нахождению суммы расходных статей теплового баланса: затрат тепла на нагрев металла, потерь тепла в окружающую среду и с охлаждающей водой.

##### 4.4.2.1 Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла для печей непрерывного действия:

$$Q_M = \frac{P}{3600} \cdot c_M \cdot (t_{MK} - t_{MH}), \quad (1)$$

где  $P$  – производительность печи, кг/ч;

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

$t_{MH}$  – температура на металле начальная, °С;

$t_{MK}$  – температура на металле конечная, °С.

Вычисляем среднюю теплоемкость в интервале температур от 20 до 730 °С, как средне-арифметическое значение справочных данных:

$$(486+502+519+536+586+645+695+687)/8=582 \text{ [12].}$$

$$\text{Из (1) } Q_M = 9198/3600 \cdot 582 \cdot (920-20) = 1338309 \text{ Вт}$$

##### 4.4.2.2 Потери тепла потерь тепла с охлаждающей водой

$$Q_B = P_B \cdot C_B \cdot (t_1 - t_2), \text{ Вт} \quad (2)$$

где  $P_B$  – часовой расход воды;

$C_B$  – теплоемкость воды = 4,18 кДж/кг·°С;

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$t_1$  и  $t_2$  – температура воды на входе и выходе при охлаждении индуктора.

Из (2)  $Q_{\text{в}} = 20 \cdot 4,18 \cdot (80 - 20) = 5\,016$  Вт

#### 4.4.2.3 Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку установки

Пренебрегая кривизной стенки, при стационарном теплообмене потери тепла через многослойную стенку определяются по формуле:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{о}}}{\frac{S_1}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 \cdot F_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_{\text{в}} \cdot F_{\text{нар}}}}, \text{ Вт} \quad (3)$$

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

$t_{\text{о}}$  – температура окружающего пространства,  $^{\circ}\text{C}$ ;

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

$F_1, F_2 \dots$  - средняя площадь каждого слоя кладки,  $\text{м}^2$ ;

$F_{\text{нар}}$  – наружная поверхность кладки,  $\text{м}^2$ ;

$\lambda_1, \lambda_2 \dots$  - коэффициент теплопроводности каждого слоя кладки, Вт/м·К.

Футеровка состоит из мультикремнеземистого огнеупора (0,06 м) и асбеста (0,16 м).

$$\lambda_{\text{м}} = 1,77 - 0,23 \cdot 10^{-3} t_1, \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \quad (4)$$

$$\lambda_{\text{а}} = 0,157 + 0,221 \cdot 10^{-3} t_2, \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \quad (5)$$

$$t_1 = \frac{t_{\text{п}} + t_{1,2}}{2}, ^{\circ}\text{C} \quad (61)$$

$$t_2 = \frac{t_{\text{нар}} + t_{1,2}}{2}, ^{\circ}\text{C} \quad (7)$$

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

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

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

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$F_1 = \sqrt{(F_{\text{вн}} \cdot F_{1,2})}, \text{ м}^2 \quad (8)$$

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

$F_{1,2}$  – поверхность между слоями.

$$F_2 = \sqrt{(F_{\text{нар}} \cdot F_{1,2})}, \text{ м}^2 \quad (9)$$

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

Площадь слоев футеровки:

$$F_{\phi} = \pi D_{\phi} H_{\phi} \quad (10)$$

Принимаем  $t_{\text{п}} = 920 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{1,2} = 740 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{нар}} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$\text{Из (6)} \quad t_1 = \frac{920+740}{2} = 830 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{Из (7)} \quad t_2 = \frac{740+110}{2} = 425 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{Из (4)} \quad \lambda_{\text{м}} = 0,494 - 0,145 \cdot 10^{-3} \cdot 830 = 0,37 \text{ Вт/ м К};$$

$$\text{Из (5)} \quad \lambda_{\text{а}} = 0,157 + 0,221 \cdot 10^{-3} \cdot 425 = 0,25 \text{ Вт/ м К}.$$

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

$$\text{Из (10)} \quad F_{\text{вн}} = 3,14 \cdot 0,56 \cdot 3,5 = 6,15 \text{ м}^2$$

$$\text{Из (10)} \quad F_{1,2} = 3,14 \cdot 0,64 \cdot 3,5 = 7,03 \text{ м}^2$$

$$\text{Из (10)} \quad F_{\text{нар}} = 3,14 \cdot 0,88 \cdot 3,5 = 9,7 \text{ м}^2$$

Из (8)

$$F_1 = \sqrt{6,15 \cdot 7,03} = 6,6 \text{ м}^2$$

Из (9)

$$F_2 = \sqrt{7,03 \cdot 9,7} = 8,2 \text{ м}^2$$

$$\text{Из (3)} \quad Q_{\text{ст}} = \frac{780 - 20}{\frac{0,04}{1,6 \cdot 5,4} + \frac{0,08}{0,24 \cdot 6,7} + \dots + \frac{1}{18 \cdot 7,7}} = 12258,1 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{920 - 20}{\frac{0,04}{0,37 \cdot 6,6} + \frac{0,08}{0,25 \cdot 8,2} + \dots + \frac{1}{18 \cdot 9,7}} = 10 \text{ 860 Вт}.$$

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Проверочный расчет:

$$t_{1,2} = t_{\text{п}} - Q_{\text{ст}} \cdot R_1 = 920 - 10\,860 \cdot 0,016 = 773 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{нар}} = t_{\text{п}} - Q_{\text{ст}} \cdot (R_1 + R_2) = 920 - 10\,860 \cdot (0,016 + 0,06) = 113 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

$$Q_{\text{кл}} = 10\,860 \text{ Вт}.$$

#### 4.4.2.4 Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:

$$Q_{\text{луч}} = c_0 \cdot \epsilon_{\text{м}} \cdot \varphi \cdot F_{\text{отв}} \cdot \Delta\tau \cdot \left[ \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт} \quad (11)$$

где  $c_0 = 5,7$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>;

$\epsilon_{\text{м}} = 0,8$  – степень черноты нагреваемого металла;

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

$F_{\text{отв}}$  – площадь загрузочного окна, м<sup>2</sup>;

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

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

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

$$F_{\text{отв}} = \pi R^2, \quad (12)$$

где  $R$  – внутренний радиус футеровки.

Печь проходная, поэтому окна всегда открыты:  $\Delta\tau = 1$  с/с

$$\text{Из (12) } F_{\text{отв}} = 3,14 \cdot 0,28^2 = 0,25 \text{ м}^2$$

$$\text{Печь имеет два окна: } F_{\text{отв}} = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ м}^2$$

$$\text{Из (11) } Q_{\text{луч}} = 5,7 \cdot 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,5 \cdot \left[ \left( \frac{1193}{100} \right)^4 - \left( \frac{293}{100} \right)^4 \right] = 20\,707 \text{ Вт}$$

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

**4.4.2.5 Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями:**

$$Q_{к.з.} = 0,9 \cdot Q_{кл}, \text{ Вт} \quad (13)$$

Из (13)  $Q_{к.з.} = 0,9 \cdot 10\ 860 = 9\ 774 \text{ Вт}$

Определим требуемую мощность печи:

$$N_{тр} = Q_{к.з.} + Q_{луч} + Q_{кл} + Q_{в} + Q_{м} \quad (14)$$

Из (14)  $N_{тр} = 9\ 774 + 20\ 707 + 10\ 860 + 5\ 016 + 1\ 338\ 309 = 1\ 384\ 666 \text{ Вт}$ .

Определим установочную мощность печи:

$$N_{уст} = k \cdot N_{тр}, \quad (15)$$

Где  $k$  – запас прочности = 1,2...1,4

Из (15)  $N_{уст} = 1,2 \cdot 1\ 384\ 666 = 1\ 661\ 599 \text{ Вт}$ .

Выбираем печь мощностью 1 670 КВт. Тепловой баланс выбранной печи представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Тепловой баланс печи

Приходные статьи	Вт	%	Расходные статьи	Вт	%
Тепло, получаемое при прохождении электрического тока через нагреватели	1670000	100	1. Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	1 338 309	80,1
			2. Потери тепла на охлаждение водой	5 016	0,3
			3. Тепло, теряемое теплопроводностью через кладку печи	10 860	0,6
			4. Потери тепла излучением через открытое загрузочное окно:	20 707	1,3

Продолжение таблицы 8

Приходные статьи	Вт	%	Расходные статьи	Вт	%
			5.Потери тепла, обусловленные короткими электрическими замыканиями	9 774	0,6
			6.Прочие расходы	285 334	17,1
Итого	1670000	100		1 670 000	100

Окончание таблицы 8

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия чёрных металлов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1999, 336 с. УДК 669.053 (075.8)
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для вузов. 3-е изд. М., «Металлургия», 1984. 360 с. УДК 669.01 (075.8)
3. Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г., Коликов А.П. технология и оборудование трубного производства; учебное пособие для вузов. Под ред. В.Я. Осадчего.- М.: «Интернет Инжиниринг», 2007.-560 с.: ил. ISBN 978-89594-144-7
4. Плошкин В.В. материаловедение: учеб. пособие-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Издательство Юрайт, 2011.-463 с.- Серия: Основы наук. . ISBN 978-5-9916-1222-7
5. Друян, В.М. Теория и технология трубного производства / В.М. Друян , Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. —Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2001. —544 с.
6. Шанов А.Н. Высокочастотная сварка металла. 2016-01-03.
7. В.М Константинов, д-ртехн. Наук, Э.П.Пучков, канд. техн. наук, А.И. Галимский (БНТУ), Д.А. Семенов (РУП БМЗ). Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства горячекатанных труб, изготовленных из стали 09Г2С.
8. Попова, Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста: 3-е изд., перераб. и доп. / Л.Е. Попова, А.А. Попов. – М.: Металлургия, 1991, – 503 с.
9. Самохоцкий, А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, М.: Машгиз, 1962 - 252 с.
10. Филинов, С.А. Справочник термиста: справ. пособие / С.А. Филинов, И.В. Фиргер. Л.: Машиностроение,1975-179 с.
11. Кривандин, В.А. Металлургические печи / В.А. Кривандин, Н.Г. Молчанов, С.Л.Соломенцев. -2-е изд., переработанное. М.: Металлургия,1969 -168 с.

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

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

13. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия (с Изменением N 1) МКС 77.140.50. ОКП 09 2500, 09 3000, 09 7000, 11 2000. Дата введения 1991-01-01

					220302.2020.633.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47