

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

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

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ
ИЗ СТАЛИ 13ХФА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 22.03.02.2018.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель работы, д.т.н., проф.
_____ / Ю.Н. Гойхенберг/
_____ 2018 г.

Автор работы
студент группы П-447
_____ / И.И. Сулейманова/
_____ 2018 г.

Нормоконтролер, д.т.н., проф.
_____ / Ю.Н. Гойхенберг/
_____ 2018 г.

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

Факультет «Материаловедения и металлургических технологий»
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»
Специальность «Металловедение и термическая обработка металлов»

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

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу студента
Сулеймановой Ильсии Ишмуратовны

(Ф. И.О. полностью)

Группа П-447

1 Тема работы: Технология производства горячекатаных труб из стали
13ХФА

утверждена приказом по университету от 04.04.2018г. №580

2 Срок сдачи студентом законченной работы _____

3 Исходные данные к работе:

а) материалы производственной практики на заводе ОАО «Челябинский
трубопрокатный завод»;

б) техническая литература по специальности.

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих
разработке вопросов)

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ условий работы детали и предъявляемые к ней требования

1.2 Общая характеристика стали 13ХФА

- 1.3 Влияние углерода, легирующих элементов и примесей и на структуру и свойства стали 13ХФА
2. ВЫПЛАВКА СТАЛИ И ПОЛУЧЕНИЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ
 - 2.1 Выплавка стали
 - 2.2 Шихтовые материалы сталеплавильного производства
 - 2.3 Выбор метода плавки и оборудование
 - 2.4 Внепечная обработка стали
 - 2.5 Выбор способа разливки
 - 2.6 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок
3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ
 - 3.1 Нагрев и прошивка заготовок в гильзы
 - 3.2 Прокатка гильз на пилигримовом стане
 - 3.3 Прокатка труб на калибровочном стане
4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 13ХФА
 - 4.1 Режим термообработки для горячедеформированных труб
 - 4.2 Закалка
 - 4.3 Нормализация
 - 4.4 Закалка из межкритического интервала температур
 - 4.5 Высокий отпуск
 - 4.6 Изменение механических свойств стали 13ХФА при закалке из аустенитной области и МКИ
 - 4.7 Анализ возможного брака и меры по его устранению
5. ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
 - 5.1 Оборудование для термической обработки бесшовных горячедеформированных труб
 - 5.2 Тепловой расчет индуктора-нагревателя
 - 5.3 Составление теплового баланса
 - 5.4 КПД индуктора-нагревателя

5 Перечень графического материала

а) Презентация по результатам работы, оформленная в PowerPoint

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Технологическая часть	Гойхенберг Ю.Н.		
Выплавка стали и получение трубной заготовки	Гойхенберг Ю.Н.		
Изготовление бесшовных горячедеформированных ТРУБ	Гойхенберг Ю.Н.		
Термическая обработка труб из стали 13ХФА	Гойхенберг Ю.Н.		
Описание и расчет основного оборудования	Гойхенберг Ю.Н.		

7 Дата выдачи задания 16 апреля 2018 г.

Руководитель _____ Ю.Н. Гойхенберг
(подпись)

Задание принял к исполнению _____ И.И. Сулейманова
(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Составление плана работы	16.04.2018-25.04.2018	
Поиск и исследование литературы по теме выпускной работы	26.04.2018-30.04.2018	
Литературный обзор	3.05.2018-14.05.2018	
Написание вводного и заключительного этапов	16.05.2018-22.05.2018	
Подготовка доклада и графического материала	23.05.2018-26.05.2018	
Представление выпускной квалификационной работы на кафедре	04.06.2018	
Защита выпускной квалификационной работы	14.06.2018	

Заведующий кафедрой _____ /Г.Г. Михайлов/

Руководитель работы _____ / Ю.Н. Гойхенберг/

Студент _____ /И.И. Сулейманова/

АННОТАЦИЯ

Сулейманова И.И. «Технология производства горячекатаных труб из стали 13ХФА» – г. Челябинск: ЮУрГУ, П-447, 2018. – 52 с., 23 ил., 6 табл., библиогр. список – 22 наим.

В данной выпускной квалификационной работе представлены технологические процессы изготовления бесшовных горячекатаных труб из стали 13ХФА. В ней приводятся особенности влияния углерода, примесей и легирующих элементов, а также эксплуатационных требований к трубным сталям. Описаны технологические процессы выплавки и разливки стали, технология горячей прокатки бесшовных труб из указанной стали, цели и режимы термической обработки. Приведены примеры возможного вида брака и меры по его устранению. Проведен тепловой расчет индуктора нагревателя.

					<i>ЮУрГУ-22.03.02.2018.447.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Сулейманова И.</i>			<i>Технология производства горячекатаных труб из стали 13ХФА</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Гойхенберг Ю.Н.</i>				6	52	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Гойхенберг Ю.Н.</i>				ЮУрГУ кафедра МиФХМ		
<i>Утв.</i>		<i>Михайлов Г.Г.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	10
1.1 Анализ условий работы детали и предъявляемые к ней требования	10
1.2 Общая характеристика стали 13ХФА	11
1.3 Влияние углерода, легирующих элементов и примесей и на структуру и свойства стали 13ХФА.....	13
2.ВЫПЛАВКА СТАЛИ И ПОЛУЧЕНИЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ.....	17
2.1 Выплавка стали.....	17
2.2 Шихтовые материалы сталеплавильного производства	18
2.3 Выбор метода плавки и оборудование	19
2.4 Внепечная обработка стали	21
2.5 Выбор способа разливки	23
2.6 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок.....	24
3.ИЗГОТОВЛЕНИЕ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ	26
3.1 Нагрев и прошивка заготовок в гильзы.....	26
3.2 Прокатка гильз на пилигримовом стане	30
3.3 Прокатка труб на калибровочном стане.....	32
4.ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 13ХФА.....	35
4.1 Режим термообработки для горячедеформированных труб	35
4.2 Закалка	36
4.3 Нормализация	38
4.4 Закалка из межкритического интервала температур.....	38
4.5 Высокий отпуск.....	39
4.6 Изменение механических свойств стали 13ХФА при закалке из аустенитной области и МКИ.	40
4.7 Анализ возможного брака и меры по его устранению	42
5.ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	44
5.1 Оборудование для термической обработки бесшовных горячедеформированных труб.....	44

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

7

5.2 Тепловой расчет индуктора-нагревателя	46
5.3 Составление теплового баланса	48
5.4 КПД индуктора-нагревателя.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
ЛИТЕРАТУРА.....	51

ВВЕДЕНИЕ

В данной дипломной работе рассмотрена технология производства бесшовных труб.

Благодаря высокой прочности, надежности и стойкости к воздействию внешних факторов бесшовные трубы применяются в различных областях промышленности: химической, угольной, нефтяной, машиностроительной, газопроводной, а также в дорожном строительстве и производстве высокоточных машин и механизмов. Бесшовные изделия могут различаться по типу изготовления. Различают три вида бесшовных труб:

- горячедеформированные;
- холоднодеформированные;
- цельнотянутые.

Бесшовные горячедеформированные (горячекатаные) трубы – это трубы, которые не имеют сварного шва и продеформированы при температуре выше температуры рекристаллизации.

Бесшовные горячедеформированные трубы нашли широкое применение в нефтяной и газовой промышленности, топливно-энергетическом комплексе, машиностроении, медицине, ракетно-космической технике и т.д.

В виду высокой прочности готовых труб, они используются в тех отраслях, где к трубам выдвигаются очень высокие требования. Где авария может привести не просто к серьезным убыткам, но и повредить жизни и здоровью людей, а также стать причиной загрязнения окружающей среды.

Учитывая специфику применения бесшовных горячедеформированных труб, очевидно, что они должны изготавливаться из легированной стали, обладающей повышенной устойчивостью к действию коррозии, причем как с внутренней (трубы подвергаются действию со стороны агрессивной рабочей среды, что может привести к нежелательным химическим реакциям и разрушению их внутренней поверхности), так и с внешней (трубы подвергаются воздействию почвенной коррозии, что также может отрицательно сказаться на их целостности и герметичности) стороны.

Целью дипломной работы является разработка технологического процесса производства бесшовной горячекатаной трубы.

При выполнении работы были решены следующие задачи:

- анализ выбранной стали и ее свойства;
- процесса выплавки и разлива стали;
- обработка давлением металла;
- термическая обработка бесшовной горячекатаной трубы;
- тепловой расчет термического оборудования.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ условий работы детали и предъявляемые к ней требования

Горячекатаные (горячедеформированные) бесшовные трубы являются важным элементом строительных и производственных конструкций, в том числе трубопроводов, работающих в условиях высоких напряжений и при различных температурах.

По конструкции горячекатаные бесшовная труба представляет собой полое цилиндрическое или профильное изделие (рисунок 1.1), на котором нет ни единого сварного шва. Отсутствие шва является гарантией повышенной надежности, стойкости к механическим и физическим воздействиям, и, следовательно, повышает эксплуатационные характеристики.

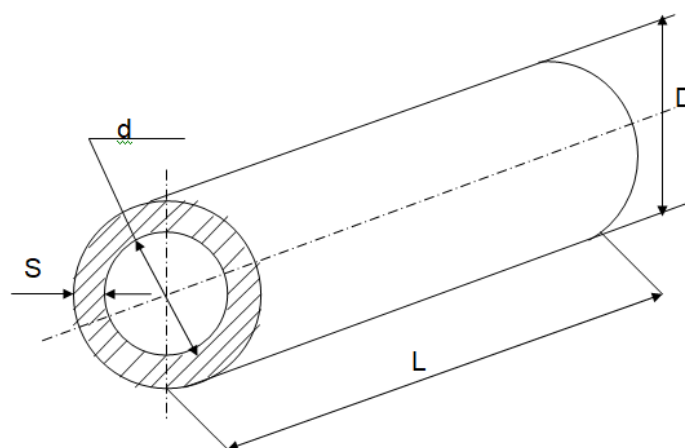


Рисунок 1.1 – Общий вид бесшовной трубы: D – наружный диаметр трубы; d – внутренний диаметр трубы; S – толщина стенки; L – длина трубы

Горячедеформированные бесшовные трубы изготавливаются из углеродистых и легированных (ГОСТ 8731 – 87 и ГОСТ 8732 – 78) и из высоколегированных (ГОСТ 9940 – 81 и ГОСТ 8732 – 78) сталей.

Требования, предъявляемые к горячедеформированным бесшовным трубам, сводятся к тому, что они должны иметь как можно более высокую прочность (временное сопротивление разрыву), обладать высокой вязкостью и сопротивлением вязкому и хрупкому разрушению при температурах строительства и эксплуатации, а также иметь хорошую пластичность, коррозионную стойкость.

При этом существуют требования по ограничению отношения показателей предела текучести и предела прочности σ_T/σ_B . Так, для углеродистой стали не должно превышать 0,75, для низколегированной стали – 0,8, для микролегированной нормализованной и термически упроченной стали – 0,85, и для микролегированной стали контролируемой прокатки, включая бейнитную – 0,9 [1].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

10

1.2 Общая характеристика стали 13ХФА

Сталь 13ХФА согласно ТУ 1319-369-00186619-2012 предназначена для труб бесшовных горячедеформированных нефтегазопроводных повышенной коррозионной стойкости.

Она классифицируется как конструкционная доэвтектоидная низкоуглеродистая низколегированная высококачественная сталь. Сталь 13ХФА по коррозионной стойкости превосходит широко используемые трубные стали, как 09Г2С, 17Г1С и сталь 20 [2]. Химический состав и температуры критических точек для стали 13ХФА приведены в таблицах 1.1 и 1.2 [3].

Таблица 1.1 – Химический состав стали 13ХФА [3]

Массовая доля элементов, %, не более или в пределах										
С	Si	Mn	Al	V	Cr	Ni	Cu	S	P	N
0,12- 0,17	0,19- 0,38	0,47- 0,65	0,02- 0,05	0,04- 0,07	0,52- 0,68	0,25	0,30	0,005	0,015	0,010

Таблица 1.2 – Температуры критических точек стали 13ХФА

Ac ₁ , °C	Ac ₃ , °C	Ar ₁ , °C	Ar ₃ , °C	Mn, °C
760	864	-	790	270

На рисунке 1.2 приведена диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 15ХФ, которая близка по химическому составу стали 13ХФА [4].

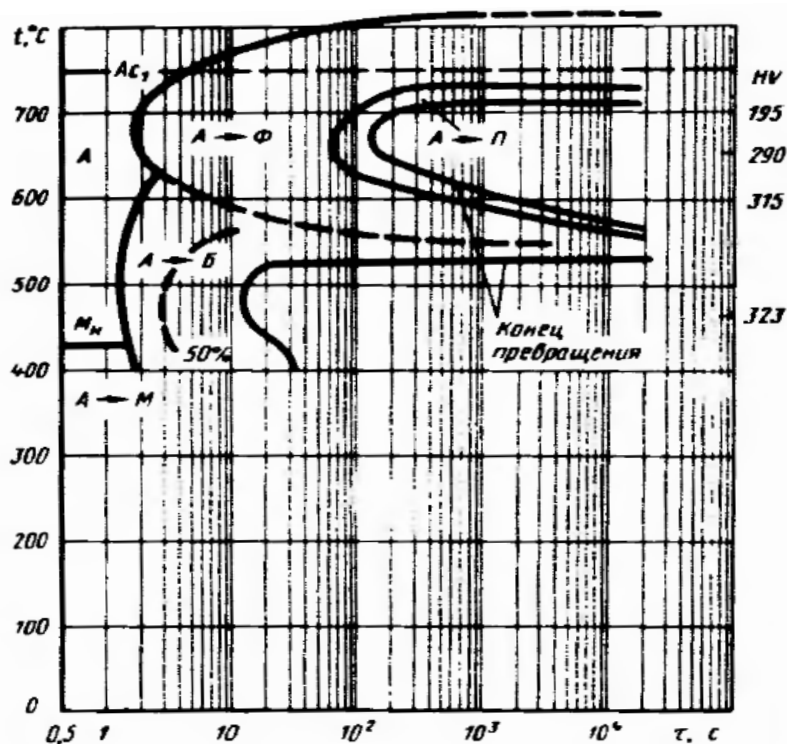


Рисунок 1.2 – Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 15ХФ следующего химического состава: С – 0,15%, Si – 0,48%, Mn – 0,67%, Cr – 1,20%, V – 0,31% и температур критических точек: $A_{c1} - 755^{\circ}C$; $A_{c3} - 870^{\circ}C$ $M_n - 435^{\circ}C$ [4]

Механические свойства металла труб из стали 13ХФА должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.3 [3].

Таблица 1.3 – Механические свойства металла труб из стали 13ХФА [3]

Наименование показателя	Величина показателя
Временное сопротивление, $\sigma_0, МПа (кгс/мм^2)$, не менее	510 (52,0)
Предел текучести, $\sigma_{0,2}, МПа (кгс/мм^2)$, не менее не более	372 (38,0)
	491 (50,1)
Относительное удлинение, $\delta_5, \%$, не менее	23,0
Отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_0$, не более	
- для труб, термообработанных по режиму «полная закалка+отпуск»	0,90
- для труб, термообработанных по режиму «полная закалка+закалка из МКИ ¹ +отпуск»	0,85
- для труб, термообработанных по режиму «нормализация+закалка из МКИ+отпуск»	0,85
Твердость, HRB, не более	92

Продолжение таблицы

Ударная вязкость на продольных образцах КСV, Дж/см ² , (кгс · м/см ²), при температуре испытания минус 50°С, не менее	98 (10)
Ударная вязкость на продольных образцах КСУ Дж/см ² , (кгс · м/см ²), при температуре испытания минус 60 °С, не менее	58,8 (6,0)
Доля вязкой составляющей в изломе ударных образцов КСV, %, при температуре испытания минус 50 °С, не менее	50

Примечания:

1 – закалка из межкритического интервала

1.3 Влияние углерода, легирующих элементов и примесей и на структуру и свойства стали 13ХФА

Важной особенностью стали 13ХФА является минимальное содержание сравнительно недорогих легирующих элементов, позволяющих повысить комплекс механических свойств стали по сравнению с углеродистыми сталями.

В состав стали 13ХФА входят 11 элементов.

Легирующие элементы:

- хром;
- ванадий.

Постоянные примеси:

- кремний;
- марганец;
- алюминий;
- сера;
- фосфор;
- азот.

Случайные примеси:

- медь;
- никель.

Углерод является одним из основных компонентов стали после железа, который оказывает определяющее влияние на свойства стали. С увеличением содержания углерода в стали пластичность и вязкость снижаются, а прочность и твердость возрастают (рисунок 1.3, а). Стали с содержанием углерода до 0,5 % обладают хорошей пластичностью, поэтому обработка давлением таких сталей не вызывает затруднений. Кроме того, углерод заметно повышает верхний порог хладноломкости, расширяя тем самым температурный интервал перехода стали в хрупкое состояние (рисунок 1.3, б)

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

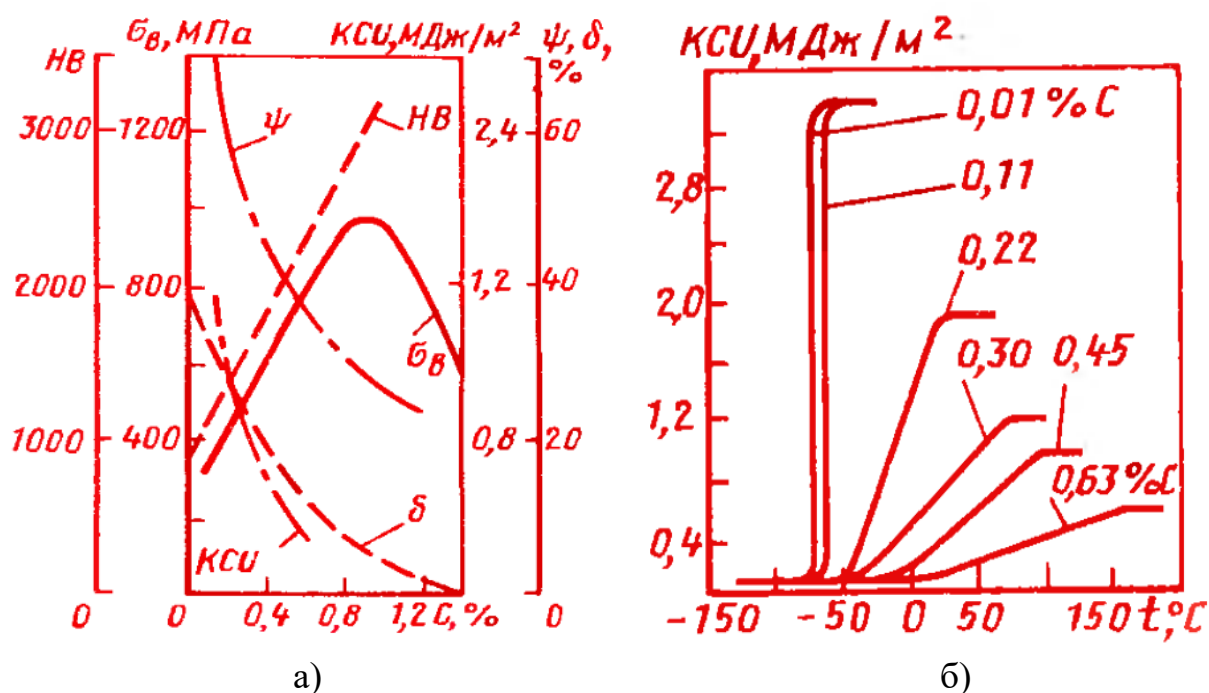


Рисунок 1.3 – Влияние содержания углерода на механические свойства горячекатаных сталей (а) и хладноломкость (б) [5]

Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях, с целью получения требуемых структур и свойств, называются легирующими [6].

Хром является карбидообразующим элементом. Комплексное легирование хромом, марганцем и кремнием повышает прокаливаемость стали. Хром, растворяясь в феррите, упрочняет его.

Присутствие ванадия в низкоуглеродистой стали в количестве 0,04 - 0,07 % способствует связыванию углерода, азота в прочные химические соединения (карбиды, нитриды или в более сложные карбонитриды), которые препятствуют росту аустенитного зерна, тем самым, обеспечивает получение мелкозернистой структуры и увеличивает вязкость стали.

Помимо легирующих элементов в стали всегда присутствуют примеси. Примеси разделяют на постоянные и случайные. Постоянными примесями в сталях считают химические элементы в ней, которые не добавлялись специально в сталь, в том числе, косвенно, например, при раскислении стали, и которые нельзя удалить простыми металлургическими процессами. Случайными примесями могут быть любые элементы, попавшие в сталь при переработке сырья неизвестного химического состава, руды или раскислителей [7].

Кремний и марганец – полезные примеси; вводятся в сталь для раскисления и остаются в ней (до 0,4 % и 0,3 – 0,8 % соответственно). Они способствуют получению мелкозернистой структуры, что приводит к увеличению вязкости. Марганец уменьшает вредное влияние не только

кислорода, но и серы, связываясь с ней в сульфид MnS . При увеличении содержания кремния и марганца в стали понижается ее пластические свойства, повышается сопротивление деформированию.

Медь вплоть до содержания 0,5 % вводится как специальная примесь для улучшения коррозионной стойкости стали.

Фосфор – крайне нежелательная примесь в конструкционных сталях. Он вызывает хладноломкость стали. Пределы содержания фосфора как постоянной примеси в стали 13ХФА составляет 0,015 %. Увеличение его содержания, даже на доли процента, проявляется упрочнением феррита, что увеличивает сопротивляемость пластической деформации, а следовательно, затрудняет проведение обработки давлением [5,8].

Пределы содержания серы как постоянной примеси составляет 0,005 %. Увеличение содержания серы в стали мало влияет на прочностные свойства, но существенно изменяет вязкость стали и ее анизотропию в направлениях поперек и вдоль прокатки. Особенно сильно анизотропия выражена при высоких содержаниях серы. Ударная вязкость на образцах, вырезанных поперек направления прокатки, уменьшается с увеличением содержания серы, а в продольном направлении с увеличением серы наблюдается тенденция к повышению ударной вязкости. Данное явление связано с усилением полосчатости феррито-перлитной структуры вследствие вытянутости сульфида MnS , в строчки вдоль прокатки (рисунок 1.4 и 1.5). Сульфид FeS , располагаясь преимущественно по границам зерен, при горячем деформировании способствует появлению горячих трещин (красноломкость стали).

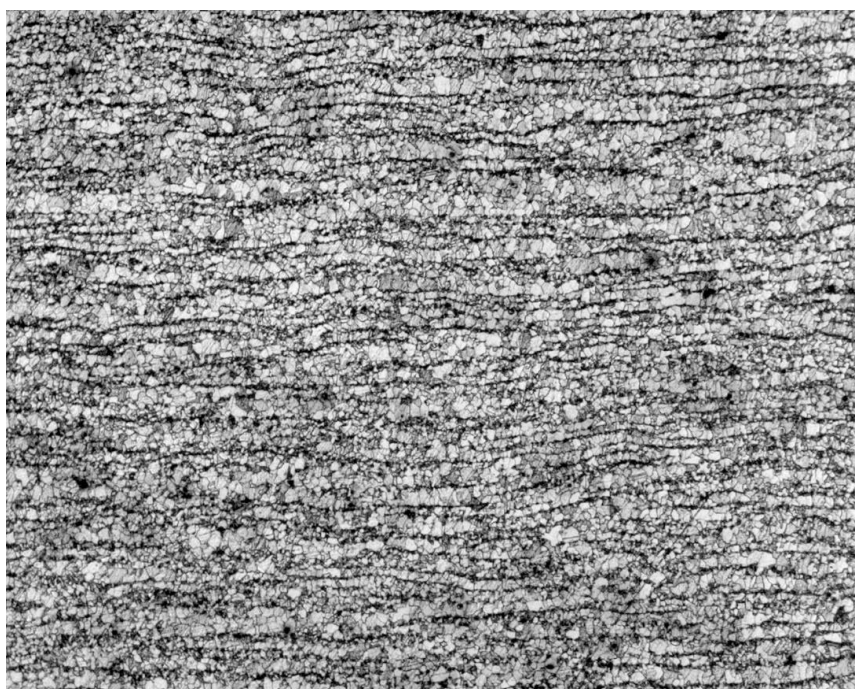


Рисунок 1.4 – Полосчатость феррито-перлитной структуры стали 13ХФА, х50 мкм

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

15

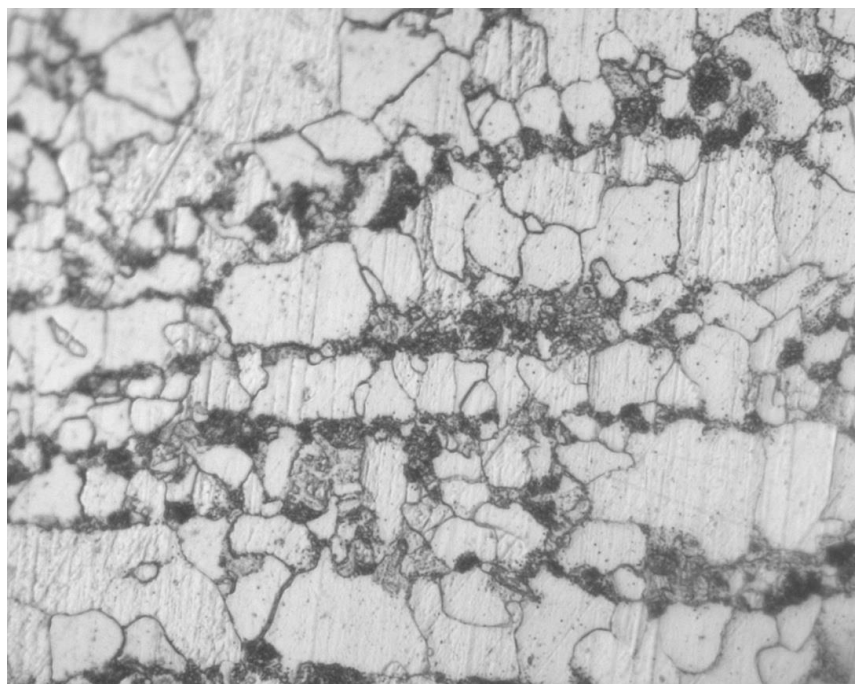


Рисунок 1.5 – Полосчатость феррито-перлитной структуры стали 13ХФА, х500 мкм

Таким образом, видно, что сталь 13ХФА, применяемая для изготовления горячедеформированных труб повышенной коррозионной стойкости для нефтегазопроводов, отличается повышенной стабильностью механических характеристик, низкой температурой вязко-хрупкого перехода, повышенной стойкостью к коррозии, стойкостью к сульфидному коррозионному растрескиванию и образованию водородных трещин.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

16

2. ВЫПЛАВКА СТАЛИ И ПОЛУЧЕНИЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

2.1 Выплавка стали

Существуют различные способы получения стали (в зависимости от способа окисления в чугуна некоторых веществ): конвертерный, мартеновский и электросталеплавильный.

Первым способом массового производства жидкой стали был бессемеровский процесс, где продувку чугуна проводили в специальном агрегате – конвертере с кислой футеровкой (материал – динасовый кирпич). Позже был разработан схожий процесс в конвертере с основной футеровкой (материал – доломит), который получил название томасовского или основного конвертерного процесса.

Сущность конвертерных процессов заключается в том, что залитый в конвертер чугун продувают снизу воздухом; кислород воздуха окисляет примеси чугуна, в результате чего он превращается в сталь; при томасовском процессе, кроме того, в основной шлак переходят сера и фосфор.

Бессемеровский и томасовский конвертеры представляют собой сосуд грушевидной формы, выполненный из стального листа с футеровкой изнутри. Сверху в горловине конвертера имеется отверстие, служащее для заливки чугуна и выпуска стали. Снизу к кожуху крепится отъемное днище с воздушной коробкой, куда подается воздух. Воздух поступает в полость конвертера через фурмы, имеющиеся в футеровке днища.

Кислородно-конвертерный процесс представляет собой один из видов передела жидкого чугуна в сталь. Сущность данного процесса заключается в продувке чугуна в конвертере без затраты топлива технически чистым кислородом.

Кислородный конвертер представляет собой сосуд грушевидной формы, футерованный изнутри и снабженный леткой для выпуска стали и отверстием сверху для ввода в полость конвертера кислородной фурмы, отвода газов, заливки чугуна, загрузки лома и шлакообразующих и слива шлака.

Достоинства кислородно-конвертерного процесса в том, что можно перерабатывать чугун практически любого состава с использованием скрапа, выплавлять широкого сортамента стали, включая легированные, имеет высокую производительность, малые затраты на строительство.

Мартеновский процесс представляет собой способ выплавки стали с использованием чугуна и большого количества стальных отходов и лома. Сущность данного процесса заключается в ведении плавки на подду пламенной отражательной печи, оборудованной регенераторами для предварительного подогрева воздуха (газа).

Мартеновская печь делится на верхнее и нижнее строение. Верхнее строение печи состоит из рабочего пространства, головок и вертикальных каналов, а нижнее строение – шлаковиков, регенераторов, боровов с перекидными устройствами, котла-утилизатора и дымовой трубы.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Топливо и воздух для горения поступают из регенератора через шлаковики и вертикальный канал в головку печи. Шлаковики служат для улавливания плавильной пыли и шлаковых частиц, уносимых продуктами сгорания из рабочего пространства печи. Продукты сгорания поступают из шлаковиков в регенератор сверху при 1500 – 1600 °С, и проходя через насадку, отдают ей значительную часть тепла. Для дальнейшего использования тепла отходящих газов их направляют в котел-утилизатор.

Достоинство мартеновского процесса перед конвертерным заключается в решении проблемы по переработке в сталь отходов и лома, а также четкости и относительной простоте контроля и управления ходом плавки. Недостатком является то, что мартеновский способ выплавки стали экологически вредный и достаточно энергозатратный.

Электросталеплавильный способ имеет перед мартеновским и особенно конвертерным целый ряд преимуществ. Этот способ позволяет получать сталь очень высокого качества и очень точно регулировать её химический состав, а также различные ферросплавы, необходимые для легирования и раскисления стали. Доступ воздуха в электропечь несущественный, поэтому значительно меньше образуется монооксида железа FeO, который загрязняет сталь и ухудшает ее свойства [9,10,11].

2.2 Шихтовые материалы сталеплавильного производства

Шихтовые материалы для производства стали включают две основные группы материалов: металлоносители и добавочные материалы. Металлоносителями являются железосодержащие материалы, а также легирующие и раскисляющие металлы и сплавы. К добавочным материалам относят шлакообразующие, окисляющие и науглероживающие добавки.

Железосодержащими материалами являются чугуны, стальной лом, губчатое железо прямого восстановления и др.

Обычно в мартеновском процессе в шихте содержится примерно 50 – 60 % чугуна и остальное лом, в конвертерном процессе 70 – 90 % шихты – чугуны, остальное – лом, в электросталеплавильном доля стального лома в шихте 75 – 100%, остальное – чугуны.

В тех случаях, когда завод является интегрированным, то используется жидкий чугун для сталеплавильного производства. Использование жидкого чугуна позволяет получать заметную экономию в расходе топлива и сокращает продолжительность плавки. Если в составе завода нет доменного цеха, то в качестве шихты в сталеплавильных агрегатах используют твердый (чушковый) чугун.

По происхождению лом подразделяют на оборотный, амортизационный и отходы металлообработки на машиностроительных заводах. Наиболее качественным видом лома является оборотный, поскольку имеет известный состав и низкое содержание посторонних примесей. Лом не должен содержать цветных металлов. Желательно, чтобы содержание фосфора в ломе не

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

превышало 0,05 %, так как при более высоком содержании фосфора продолжительность плавки возрастает. Лом не должен быть сильно окисленным (ржавым), так как с ржавчиной – гидратом окиси железа – вносится в металл много водорода.

Особую ценность представляет лом и отходы стали легированных марок. Такие ценные легирующие элементы как никель, кобальт, молибден, медь в процессе плавки практически не окисляются. Поэтому их количество, попадающее с ломом в агрегат, остается в готовой стали. Использование легированного лома для выплавки легированной стали является экономически очень эффективным, поскольку стоимость легирующих компонентов высока.

В последние годы расширяется применение металлизированных окатышей и губчатого железа – продуктов прямого восстановления, которые обогащены железными рудами. Они содержат 85–93% Fe, основными примесями являются оксиды железа, SiO_2 и Al_2O_3 .

Отличительная особенность этого сырья – наличие углерода от 0,2–0,5 до 2% и очень низкое содержание серы, фосфора, никеля, меди и других примесей, обычно имеющих в стальном ломе. Это позволяет выплавлять сталь, отличающуюся повышенной чистотой от примесей.

Раскислители и легирующие добавочные металлы применяют в чистом виде или в виде сплавов с железом (ферросплавов) или друг с другом. Сплавы, применяемые в качестве раскислителей и легирующих, должны удовлетворять ряду требований:

а) содержание основного легирующего элемента в сплаве должно быть максимальным;

б) сплавы должны быть чистыми от вредных для стали примесей, шлаковых включений и газов. Это особенно важно, потому что значительную часть их присаживают в металл после рафинирования;

в) куски сплавов должны быть определенного размера (наличие крупных кусков увеличивает время их растворения).

В качестве шлакообразующих материалов используют известь, известняк, плакиновый шпат, шамотный бой и песок.

В качестве окислителей применяют кислород, сжатый воздух, железную руду, окалину, агломерат, железорудные брикеты [9,10].

2.3 Выбор метода плавки и оборудование

На сегодняшний день для массовой выплавки стали применяют дуговые электропечи, питаемые переменным током.

Дуговые электропечи являются уникальными агрегатами, в которых выплавляют высококачественные легированные и высоколегированные стали электропечного сортамента, а также углеродистые и низколегированные стали мартеновского и конвертерного сортамента, с использованием сочетания самых разнообразных шихтовых материалов.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

В электропечи можно получать легированную сталь с низким содержанием серы и фосфора, неметаллических включений и с низкими потерями легирующих элементов. В процессе электроплавки можно точно регулировать температуру металла и его состав.

Дуговая электропечь (рисунок 2.1) состоит из рабочего пространства с электродами и токоподводами, и механизмов, обеспечивающих наклон печи, загрузку шихты, удержание и перемещение электродов.

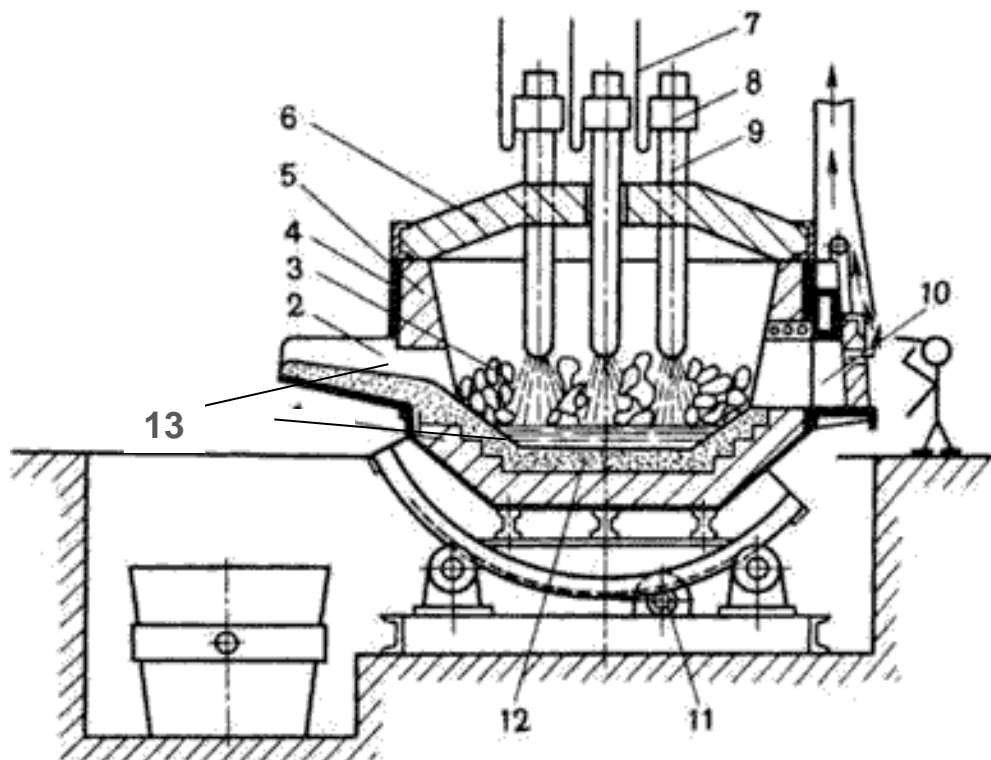


Рисунок 2.1 – Схема дуговой сталеплавильной печи: 1 – расплавленный слой металла и шлака; 2 – желоб; 3 – электрическая дуга; 4 – стальной кожух; 5 – стенка печи; 6 – свод печи; 7 – кабель; 8 – электрододержатель; 9 – электрод; 10 – рабочее окно; 11 – механизм наклона печи; 12 – подина печи; 13 – сталевыпускное отверстие

Плавка стали ведется в рабочем пространстве. Кожух 4 рабочего пространства выполняется из стального листа. Рабочее пространство сверху ограничено куполообразным сводом 6, снизу сферическим подом 12 и с боков стенками 5. Футеровки пода, стен и свода должны обладать высокой огнеупорностью, термостойкостью, противостоять химическому и механическому воздействию металла, шлака и газов.

Шихтовые материалы загружают сверху с помощью корзины (бадьи) с открывающимся дном. Загрузка шихты в печь осуществляется следующим образом: поднимаются электроды, пускаемые в печь через отверстия в своде, отводится свод, литейный кран высыпает шихту из завалочной корзины в печь. После расплавления шихты в печи образуется слой металла и шлака 1. Плавление и нагрев осуществляется за счет тепла электрических дуг 3,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

20

возникающих между электродами 9 и жидким металлом. Для удержания и зажима электрода служит электродержатель 8.

Выпуск стали осуществляется через сталевыпускное отверстие 13 и желоб 2 путем наклона рабочего пространства. Рабочее окно 10 предназначено для контроля над ходом плавки [9,10].

2.4 Внепечная обработка стали

Проведение технологических операций вне плавильного агрегата называют вторичной металлургией (внепечной обработкой, ковшевой металлургией, внеагрегатной обработкой, ковшевым рафинированием). Внепечной обработке подвергают металл, выплавленный в конвертерах, мартеновских печах и дуговых электропечах.

Внепечная обработка является обязательным элементом технологии производства стали. Она начинается уже на выпуске полупродукта из плавильного агрегата в сталеплавильный ковш и заканчивается в промежуточном ковше или в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. При этом целью внепечной обработки является получение из окисленного полупродукта стали требуемого состава, а также подготовка расплава к разливке.

Для реализации технологии получения заданного химического состава и температуры стали, а также снижения количества неметаллических включений в результате удаления серы и кислорода используется агрегат «ковш-печь» (АКП). Установка ковш-печь обычно стоит в цепи: сталеплавильный агрегат – установка ковш-печь – установка непрерывной разливки стали (УНРС). Длительность обработки стали на установке ковш-печь равна длительности плавки в стали и ее непрерывной разливки. Один из вариантов установки типа ковш-печь показан на рисунке 2.2.

Передача стали от сталеплавильного агрегата к МНЛЗ осуществляется в сталеразливочном ковше (9), который перемещается с помощью тележки (2). В ковш наводится рафинировочный шлак (3) и в него сверху опускают электроды (5). Для нагрева металла (10) используется трехфазная дуга (8) переменного тока. Для перемешивания расплава подают аргон через пористую пробку (11), которая расположена в днище ковша, после чего над расплавом образуется инертная атмосфера (7). Для введения и хранения шлакообразующих и легирующих материалов АКП снабжён бункерами (6). Дозирование стали при переливе из сталеразливочного в промежуточный ковш осуществляется посредством шиберного затвора (1).

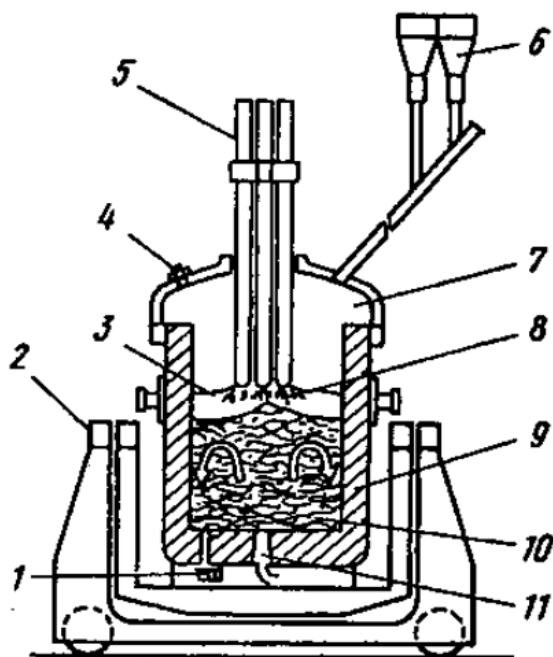


Рисунок 2.2 – Схема установки ковш-печь [9]: 1 – шлюберный затвор; 2 – тележка; 3 – основной шлак; 4 – смотровое окно; 5 – электроды; 6 – бункеры для хранения легирующих добавок; 7 – инертная атмосфера внутри печи; 8 – дуга; 9 – ковш; 10 – жидкая сталь; 11 – пористая пробка для подачи аргона

Если к стали заданы повышенные требования по содержанию газов, то металл после внепечной обработки подвергают вакуумной дегазации в камерном вакууматоре (рисунок 2.3).

Сталеразливочный ковш (7) устанавливают в вакуумную камеру, которая защищена стационарным экраном (5). На закрытый ковш устанавливают крышку (6), водоохлаждаемый экран (4), предохраняющий вакуум-камеру (8) от брызг металла и шлака, камеру накрывают вакуум-плотной крышкой и включают вакуумные насосы. Для создания более благоприятных условий протекания внепечного обезуглероживания и дегазации металл продувают снизу аргоном через пористый блок (9), а также через кислородную фурму (3) ведут интенсивную продувку кислородом. При необходимости через шлюзовое устройство (1) в расплав присаживают модифицирующие и легирующие добавки. Для наблюдения за расплавом при обработке в камерном вакууматоре используется смотровое стекло (2), которое находится на крышке камеры.

В процессе вакуумирования стали происходит удаление газов (водород, азот и кислород), а также окислительное рафинирование, позволяющее получать низкоуглеродистую сталь при высоком усвоении хрома, марганца, алюминия, титана и других элементов [9,10,11].

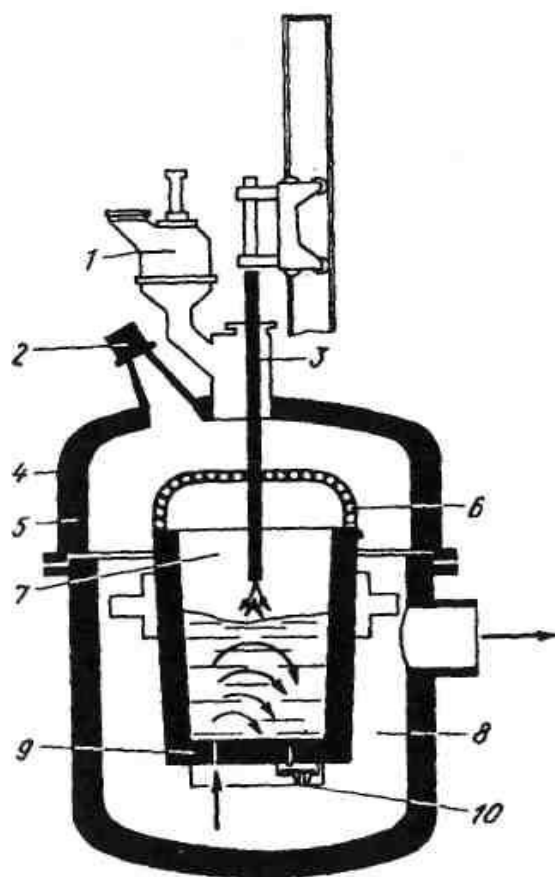


Рисунок 2.3 – Общая схема камерного вакууматора: 1 – шлюзовое устройство; 2 – смотровое стекло с ротором; 3 – кислородная фурма; 4 – водоохлаждаемый экран; 5 – стационарный теплозащитный экран; 6 – крышка ковша; 7 – сталеразливочный ковш; 8 – вакуум-камера; 9 – пористый блок; 10 – шиберный затвор ковша

После обработки металла ковш с жидкой сталью помещают на МНЛЗ.

2.5 Выбор способа разливки

Разливка – важный этап сталеплавильного производства, который следует после окончания плавки в сталеплавильном агрегате (печи) и затем, иногда после внепечной обработки в ковше. Применяют два основных способа разливки стали: разливку в изложницы (сверху и сифоном) или непрерывную разливку.

Технология и организация разливки в значительной степени определяют качество готового металла и количество отходов при дальнейшем переделе стальных слитков.

Разливка стали сверху применяется в основном для разливки мартеновской и конвертерной стали в слитки для прокатки на станах и кузнечные слитки. При разливке сверху сталь из ковша разливается в одну, а при наличии двух стопоров в ковше – сразу в две изложницы. После наполнения изложниц

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

23

стопор ковша закрывается, и ковш перевозится краном к следующим изложницам.

Преимущество разливки сверху заключается в простой подготовке оборудования и в отсутствии расхода металла на литники. К недостаткам отливки стали сверху относится невысокое качество поверхности слитка.

При сифонной разливке одновременно заполняется несколько изложниц. Для этого изложницы устанавливают на массивной чугунной плите-поддоне. В центре поддона устанавливается труба с воронкой, в которую из ковша направляют струю стали. От центральной трубы в поддоне расходятся каналы, по которым сталь растекается в направлении изложниц, установленных на концах каналов. Таким образом, наполнение изложниц происходит снизу. После наполнения всех изложниц стопор ковша закрывают и перевозят ковш на следующий поддон. Сифоном производят разливку почти всех качественных и легированных сталей.

Сифонная разливка имеет следующие преимущества:

- позволяет одновременно отливать большое количество слитков, что сокращает продолжительность разливки;
- поверхность слитка получается более гладкой;

К недостаткам сифонной разливки относятся более сложная подготовка оборудования, дополнительный расход металла на литники.

Прогрессивным способом разливки стали является разливка на установке непрерывной разливки стали (УНРС) или машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которая позволяет получать из одной плавки непрерывную стальную заготовку, тут же разрезаемую на машине на мерные длины. Непрерывная разливка стали по сравнению с разливкой изложницы имеет следующие преимущества:

- существенно повышается выход годного металла;
- повышается качество металла, вследствие снижения химической неоднородности;
- отпадает необходимость в прокатке слитков на обжимных станах (блюмингах и слябингах) и нагреве слитков до ~1100 °С перед прокаткой;
- уменьшается потребность в рабочей силе, повышается производительность труда, улучшаются условия труда;
- создаются условия для автоматизации процесса разливки [9,10,12].

2.6 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок

В качестве исходной заготовки для изготовления бесшовных труб применяют литые, катанные или кованные заготовки, поступающие в виде шланг, слитков или непрерывнолитых заготовок с МНЛЗ [13].

Наиболее распространен способ непрерывной разливки стали (рисунок 2.4).

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист 24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Суть непрерывной разливки состоит в том, что расплавленную сталь из сталеразливочного ковша 1 постепенно переливают в промежуточное устройство – промежуточный ковш 2 машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Из промежуточного ковша металл попадает в медный водоохлаждаемый кристаллизатор 3, 9. Для регулирования истечения металла из промежуточного ковша в кристаллизатор в днище ковша устанавливают стопор 5. Уровень металла перед стопором регулируется заслонкой 4. В кристаллизаторе происходит застывание стенок формируемого слитка. Далее, под воздействием тянущих роликов 7 слиток попадает в зону вторичного охлаждения. Из этой зоны слиток выходит полностью затвердевшим и попадает в зону резки [10, 12].

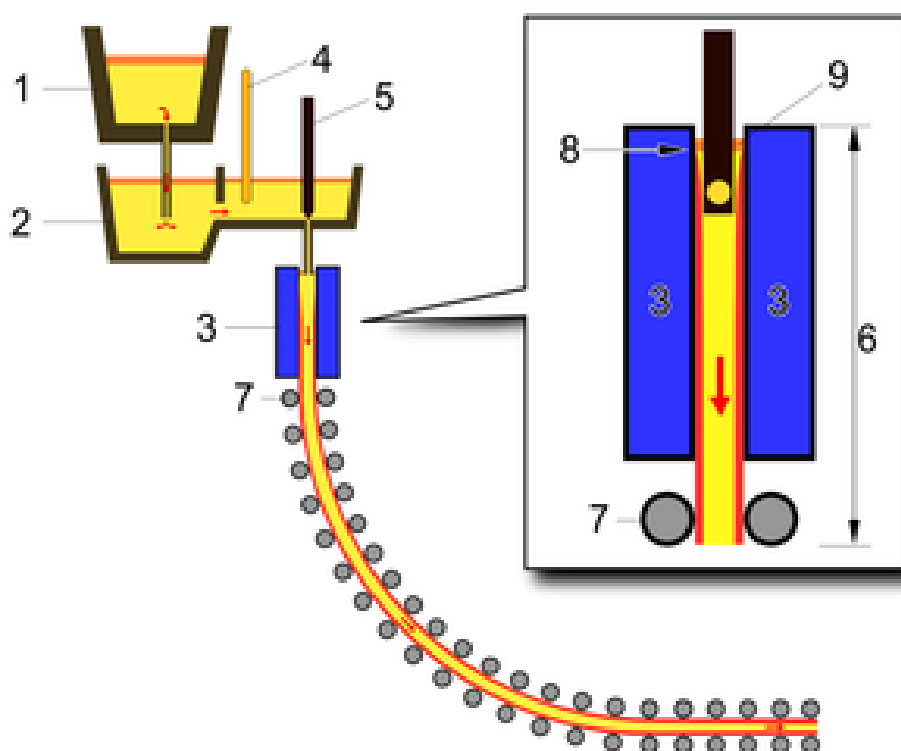


Рисунок 2.4 – Схема установки непрерывного литья: 1 – сталеразливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – заслонка; 5 – стопор; 6 – зона кристаллизации; 7 – тянущие ролики; 8 – зона начала кристаллизации; 9 – подача охлаждающей воды

Полученная стальная заготовка идет на изготовление изделий разнообразной формы, которые получают с применением процессов обработки металлов давлением (ОМД), основными из которых являются:

- прокатка;
- прессование;
- волочение;
- ковка;
- штамповка.

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

25

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ

Технологическая схема производства бесшовных труб в линии трубопрокатного агрегата (ТПА) включает следующие общие этапы:

- нагрев металла;
- получение полой заготовки (гильзы);
- получение черновой трубы (раскатка гильзы);
- окончательное формирование стенки и диаметра трубы (редуцирование и калибрование);

При этом перед каждой технологической операцией при необходимости проводят подогрев трубы [14].

На рисунке 3.1 представлена общая схема получения горячедеформированных бесшовных труб.

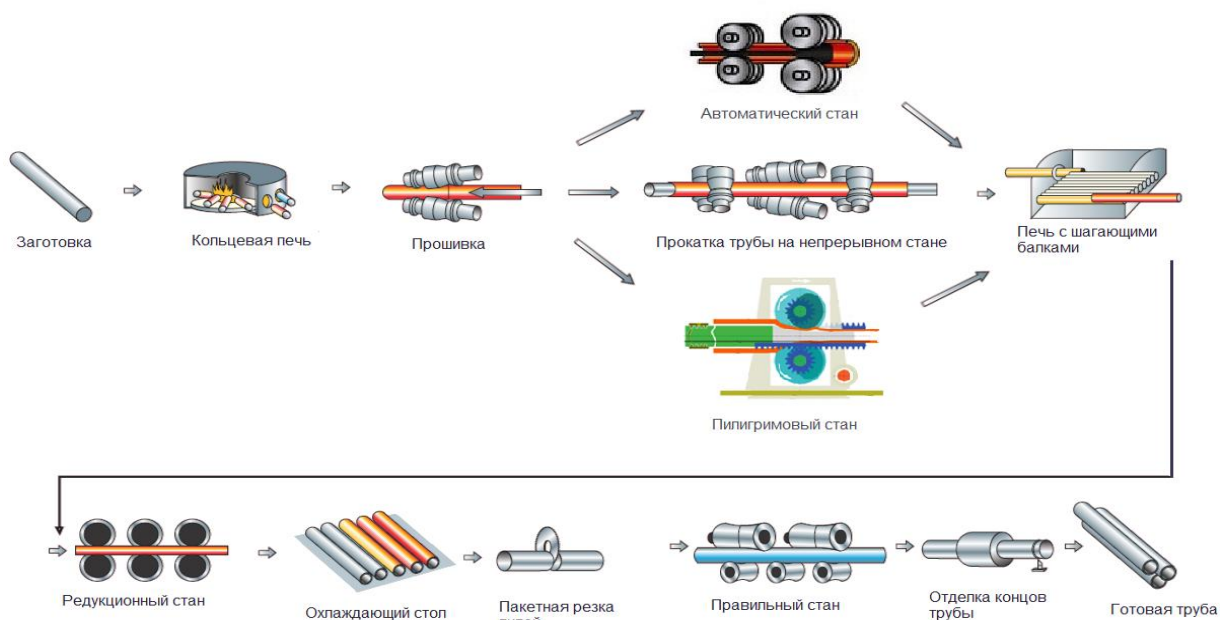


Рисунок 3.1 – Общая схема получения горячедеформированных бесшовных труб

3.1 Нагрев и прошивка заготовок в гильзы

В технологии производства бесшовных труб нагрев металла является одним из существенных технологических процессов и осуществляется с целью повышения пластичности и уменьшения сопротивления деформированию. Правильный выбор режима нагрева заготовок перед деформацией в значительной степени определяет качество готовых труб, их механические и технологические свойства, работу всего оборудования при наименьших

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

26

нагрузках и с меньшим расходом энергии. В таблице 3.1 приведены температуры нагрева заготовок перед прокаткой для некоторых сталей [12].

Таблица 3.1 – Температура нагрева заготовок под прокатку некоторых сталей [12]

Сталь	Температура нагрева, °С
Углеродистая, низколегированная до 0,45 % С (40, 15Г – 40Г)	1200 – 1220
Углеродистая, низколегированная < 0,45 % С (40, 15Г – 40Г, 30Г2, 15Х – 40Х, 15ХФ, 15ХМ – 35ХМ, 20ХГСА)	1200 – 1220
Углеродистая, низко- среднелегированная < 0,65 % С (60, 50Г, 50Х, 50ХГ, 55СГ, 40ХС, 60СА, 30ХН3, 35ХГСА)	1180 – 1200
Углеродистая, среднелегированная < 0,9 % С (У7, 58, У8ГА)	1140 – 1160
Углеродистая, легированная, инструментальная, шарикоподшипниковая около 1 % С (У9, У10, 7Х3, 9ХС, ХВГ, ШХ9, ШХ15)	1120 – 1140
Углеродистая, легированная, инструментальная, и высокомарганцовистая (У12, У13, Х12, ХВ5, 30ХГСА, 40ХГ, 14ХГС, 70Г, 65СГ)	1100 – 1120
Нихром, нержавеющая (Х15Н60, 10Х18Н9Т, 20Х18Н9Т)	1200 – 1220
Быстрорежущая (Р9, Р18)	1180 – 1200

Для нагрева трубных заготовок в составе трубопрокатных агрегатов применяются газовые (кольцевые печи с вращающимся подом, печи с шагающими балками и шагающим подом, методические печи, проходные секционные печи скоростного нагрева) и индукционные нагревательные печи.

Наиболее широкое распространение получили методические печи разнообразных конструкций.

По режиму работы методическая печь является печью непрерывного действия. Общий вид методической печи приведен на рисунке 3.2. Толкателем 1 нагреваемый металл 4 перемещается по водоохлаждаемым подовым трубам 3. Топливо сжигается с помощью горелок 2, которые расположены над и под поверхностью металла. Продукты сгорания движутся вдоль рабочего пространства печи в направлении, противоположном движению металла, т.е. противотоком. Через дымовод (вертикальный канал) 5 продукты сгорания удаляются в боров 6 и из него через рекуператор 7 и дымовую трубу 8 в атмосферу.

Заготовки проходят последовательно 3 зоны (см. рисунок 3.2):

- методическую (зона предварительного подогрева);
- сварочную (зона нагрева);
- томильную (зона выравнивания температур в заготовке).

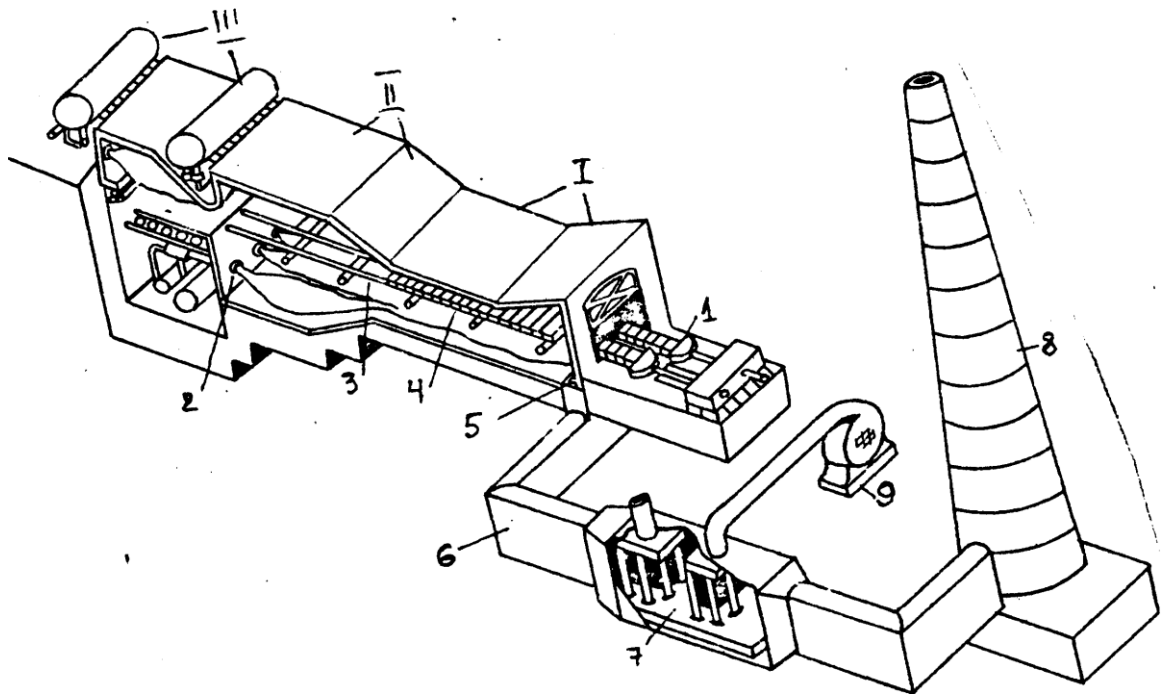


Рисунок 3.2 – Общий вид методической печи (толкательной) [15]:

I – методическая зона; II – сварочная зона; III – томильная зона; 1 – толкатель; 2 – горелка; 3 – водоохлаждаемые подовые трубы; 4 – нагреваемые заготовки; 5 – дымовод; 6 – боров; 7 – рекуператор; 8 – дымовая труба; 9 – воздушный вентилятор

Методические печи классифицируются по следующим признакам:

1) По тепловому и температурному режимам и форме рабочего пространства: а) однозонные; б) двухзонные; в) трехзонные; г) многозонные и д) камерные.

2) По отсутствию и наличию нижнего обогрева: а) с монолитным подом; б) с канализированным подом; в) с двусторонним обогревом.

3) По сортаменту нагреваемого металла: а) для нагрева слитков и заготовок квадратного сечения; б) для нагрева плоских слитков и заготовок; в) для нагрева мелких заготовок; г) для нарева сутунки; д) для нагрева круглых слитков и заготовок; е) для нагрева заготовок специального профиля (например, колесные заготовки).

4) По виду сжигаемого топлива: а) на твердом топливе; б) на жидком топливе; в) на газообразном топливе; г) на пылевидном топливе; д) с комбинированным отоплением.

5) По типу устройства для подогрева воздуха и газа: а) рекуперативные; б) регенеративные; в) без нагрева воздуха и газа.

6) По числу рядов заготовок в печи: а) однорядные; б) двухрядные.

7) По способу выдачи металла: а) с боковой выдачей; б) с торцевой выдачей [16].

В линии некоторых ТПА нагретые заготовки перед получением из них полых гильз предварительно проходят зацентровку для уменьшения разностенности переднего конца гильзы и улучшения условий захвата

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

28

заготовки валками прошивного стана. Применяется центровка заготовки сверлением на токарном станке или выдавливанием отверстия.

Наибольшее распространение получил способ центровки заготовки в горячем состоянии, осуществляемый в технологическом потоке пневматическими зацентровщиками двух типов. На машинах первого типа центровка производится накерниванием, т.е. несколькими ударами бойка, на машинах второго типа – одним ударом бойка с большой скоростью, что обеспечивает получение отверстия в торце заготовки диаметром до 30 мм и глубиной до 35 мм.

Из заготовок, нагретых до необходимой температуры и зацентрованных, получают полые гильзы, осуществляемые на прошивных станах или на прессах. До настоящего времени наиболее распространены двухвалковые станы поперечно-винтовой (косой) прокатки. По форме валков прошивные станы бывают трех типов:

- бочковидные;
- грибовидные;
- дисковые [13].

Прошивной стан с бочковидными валками имеет два рабочих валка 1 (рисунок 3.3). Валки имеют двойную конусность и вращаются в одну сторону, в результате чего заготовка 2 получает вращение, и поступательное движение вследствие того, что оси валков расположены под углом 5-12° к осевой линии прокатки. Для получения осевого отверстия требуемого диаметра применяется оправка 3. Конусная оправка устанавливается между валками, и заготовка при поступательном движении надвигается на нее, при этом происходит сглаживание поверхности осевого отверстия и увеличение диаметра. Для удержания заготовки в определенном положении относительно валков применяют неприводные ролики и направляющие линейки.

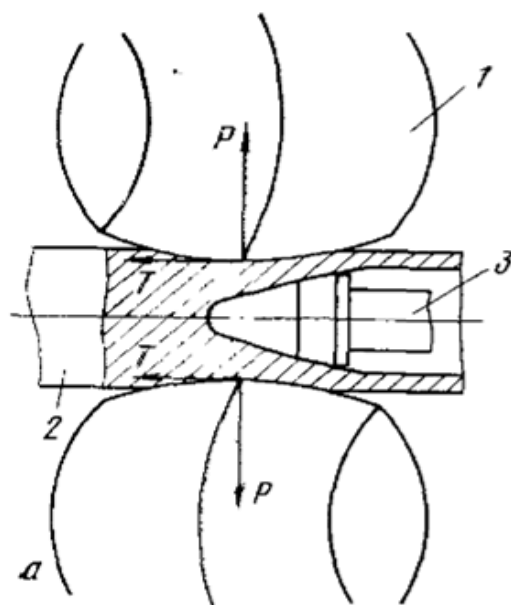


Рисунок 3.3 – Схема прошивки заготовки в прошивном стане с бочковидными валками [12]:

1 – валок; 2 – горячая заготовка; 3 – оправка

После прошивки гильзы продувают воздухом для удаления окалины, которая скапливается внутри гильзы.

3.2 Прокатка гильз на пилигримовом стане

После прошивки толстостенные гильзы прокатывают в горячем состоянии на трубопрокатных станах. Получение черновой трубы производят:

- продольной прокаткой в автоматическом стане (стане тандем);
- в непрерывном стане;
- периодической прокаткой в пилигримовом стане;
- в трехвалковом стане (стане Ассель) и др. [14].

Пилигримовый стан является одним из универсальных станов. На нем возможно получить трубы как тонкостенные, так и толстостенные.

Пилигримовая прокатка относится к периодическим процессам, в которых сочетаются элементыковки в начале процесса и продольной прокатки, причем направление вращения валков противоположно направлению подачи гильзы (рисунок 3.4). При пилигримовой прокатке цикл деформации гильзы в трубу осуществляется за один оборот валков с переменным радиусом калибра.

Вначале с помощью подающего устройства в гильзу вводят оправку (дорн), а затем гильза вместе с оправкой подается в валки. В момент начала прокатки начинается возвратное движение гильзы с дорном. Валки вращаются в сторону, обратную движению гильзы. После соприкосновения валков с гильзой начинается пластическая деформация.

Окончательные размеры горячей трубы получают на калибрующем участке валков, на котором продолжается возврат гильзы с дорном. Затем гильзу

освобождают от валков и приводимое устройство, поворачивая дорн с гильзой на 90° , перемещает их к валкам.

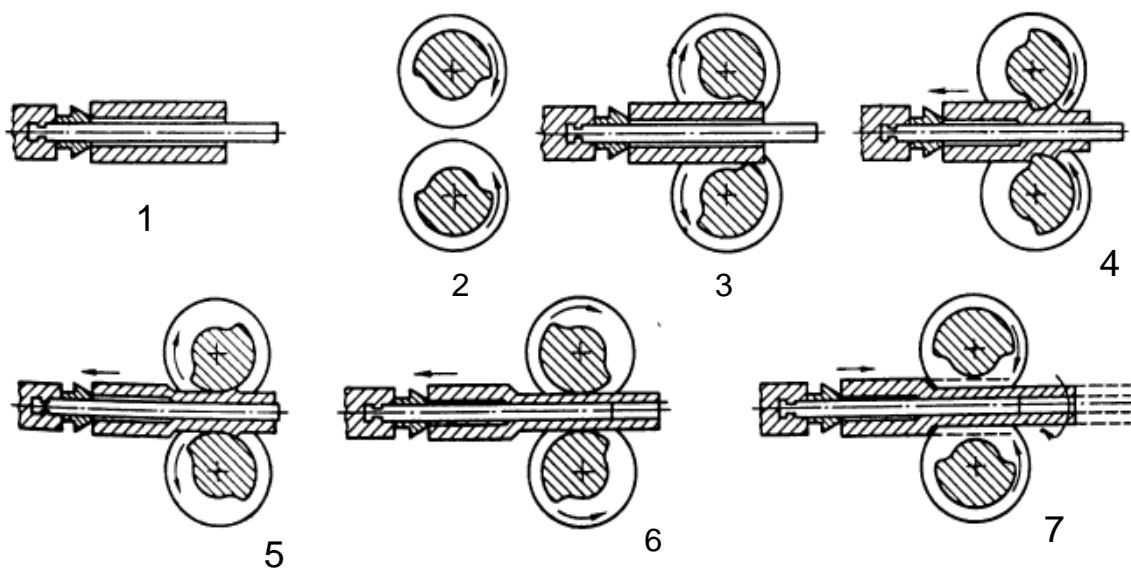


Рисунок 3.4 – Схема процесса прокатки гильзы в трубу на пилигримовом стане [13]: 1 – дорн с гильзой; 2 – валки; 3 – подача гильзы с дорном в очаг деформации; 4 – захват гильзы валками; 5 – раскатка гильзы в трубу коническим участком валков с одновременным перемещением дорна и гильзы в направлении подающего аппарата; 6 – калибровка трубы; 7 – подача дорна с трубой в зев валков с одновременным поворотом гильзы на 90°

Особенности пилигримовой прокатки заключаются в следующем:

1) Деформация металла производится в калибре переменного сечения; площадь поперечного сечения калибра уменьшается в процессе деформации.

2) В каждом периоде деформации в очаг поступает гильза переменного сечения; площадь поперечного сечения гильзы уменьшается в процессе деформации.

3) Направление прокатки противоположно направлению транспортирования гильзы и готовой трубы; в связи с этим процесс пилигримовой прокатки является периодическим: цикл деформации чередуется с циклом перемещения гильзы и трубы в направлении транспортирования.

4) Деформация происходит при наличии сил подпора, препятствующих продвижению металла в направлении прокатки.

Гильзу на пилигримовом стане раскатывают не до конца, и задняя часть остается недокатанной (пильгерная головка). Поэтому, эту часть и растресканный передний (затравочный) конец, обрезают на дисковых пилах, затем производят порезку трубы на мерные длины [13, 17].

3.3 Прокатка труб на калибровочном стане

Трубы, прокатанные на пилигримовом и других раскатных станах, еще не отвечают требованиям, предъявляемым к товарной продукции по диаметру и точности размеров, а также по качеству наружной поверхности. Для решения этих задач, а также повышения производительности в состав агрегатов включают обкатные машины, калибровочные и редуцирующие станы.

Для начала трубы проходят предварительный нагрев (до 1000 – 1150 °С) в газовой роликовой печи (ГРП), чтобы выровнять температуру по длине и сечению трубы и тем самым исключить влияние неравномерности температуры.

После трубы поступают на рольганг калибровочного стана. Калибровочные станы предназначены для устранения овальности и получения готовых труб точного размера. Калибровку труб производят на станах винтовой прокатки – трехвалковых и безоправочных станах продольной прокатки, получивших наибольшее распространение при отделке бесшовных и сварных труб. В состав калибровочных станов продольной прокатки входят от 3 до 12 двухвалковых клеток, которые устанавливают под углом 45° к горизонту и под углом 90° одна к другой, что обеспечивает обжатие заготовки в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рисунок 3.5).

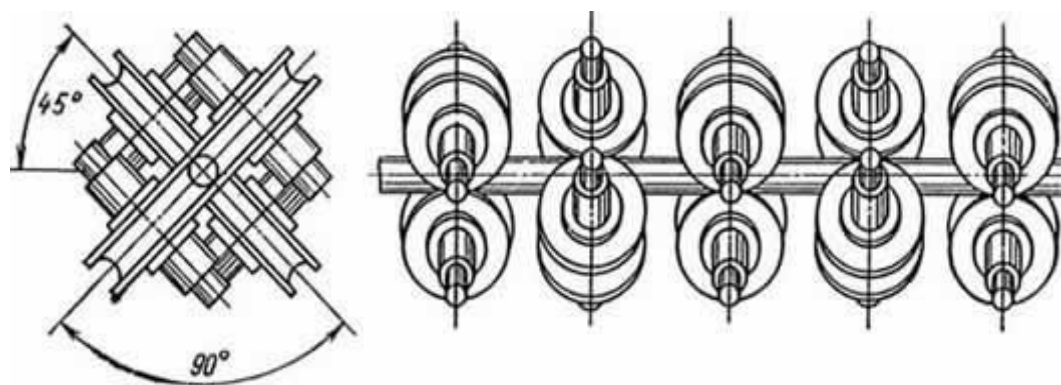


Рисунок 3.5 – Схема калибровочного стана

Трубы на калибровочном стане прокатывают особенно тщательно, так как стан является чистовым и на нем заканчивается горячий цикл получения труб, и они поступают на правильные станы (правильные машины).

Для правки труб, имеющих продольную кривизну и поперечную овальность сечений, применяют разное оборудование. При большой продольной кривизне труб правку осуществляют на эксцентриковых прессах. Достигаемая при этом точность невысока (остаточная кривизна составляет 1,5 мм на метр длины трубы). В других случаях трубы правят на роликовых или косовалковых правильных станах.

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

32

Для устранения продольной кривизны труб применяют многороликовые правильные машины с консольно расположенными в шахматном порядке роликами (рисунок 3.6, а, в) и прессы (рисунок 3.6, б).

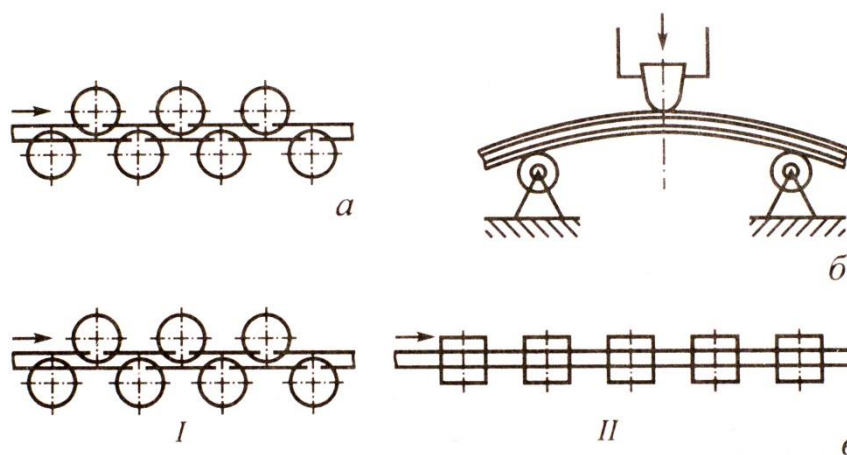
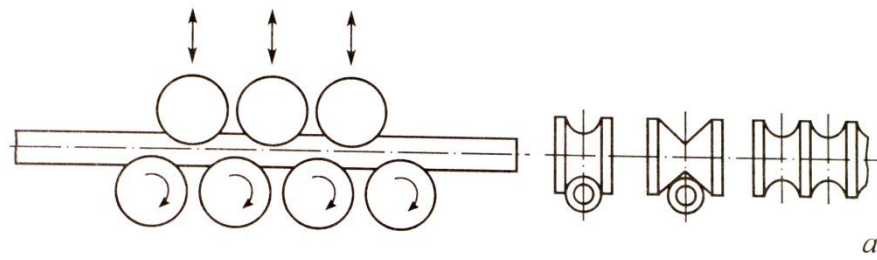


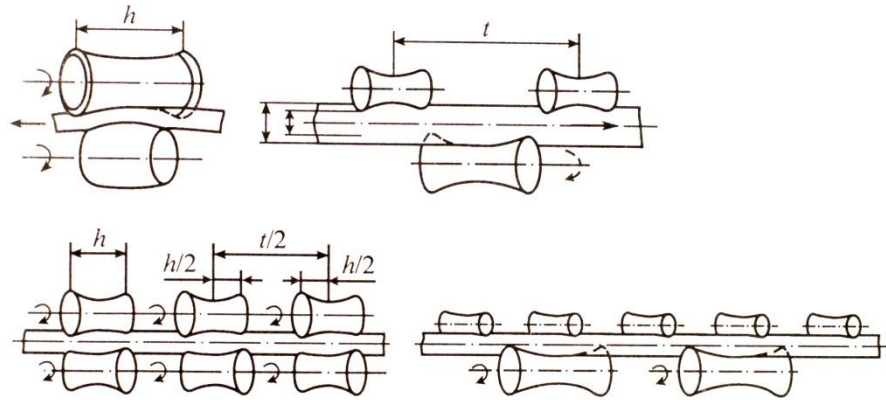
Рисунок 3.6 – Схемы правки труб: а – в одной плоскости; б – на прессе; в – в двух плоскостях

Для грубой правки труб по сечению с уменьшением овальности используются простые по конструкции правильные станы с одной парой косо расположенных валков или с тремя валками, также расположенными под определенным углом. Бочка валка выполнена в виде гиперboloида вращения. При правке в этих станах труба совершает поступательное и вращательное движение. Благодаря этому труба многократно изгибается, и достигается правка овальности сечения трубы частично и по длине. Такие станы получили достаточно широкое распространение.

После предварительной правки трубы окончательно правят на косо валковых правильных машинах (рисунок 3.7), в которых труба, осуществляя вращательно-поступательное перемещение, подвергается многократному упруго-пластическому изгибу. Этот метод характеризуется высокой производительностью и сравнительно высокой точностью правки в валках с гиперboloидной поверхностью [13].



a



б

Рисунок 3.7 – Схемы правки труб в роликовых (а) и валковых (б) правильных машинах

После всех этих операций промаркированные трубы подвергаются окончательной термической обработке.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

34

4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 13ХФА

В настоящее время в трубном производстве широко применяется термическая обработка для улучшения пластичности и комплекса механических характеристик металла труб. Она применяется как для готовых изделий, так и на промежуточных стадиях изготовления труб.

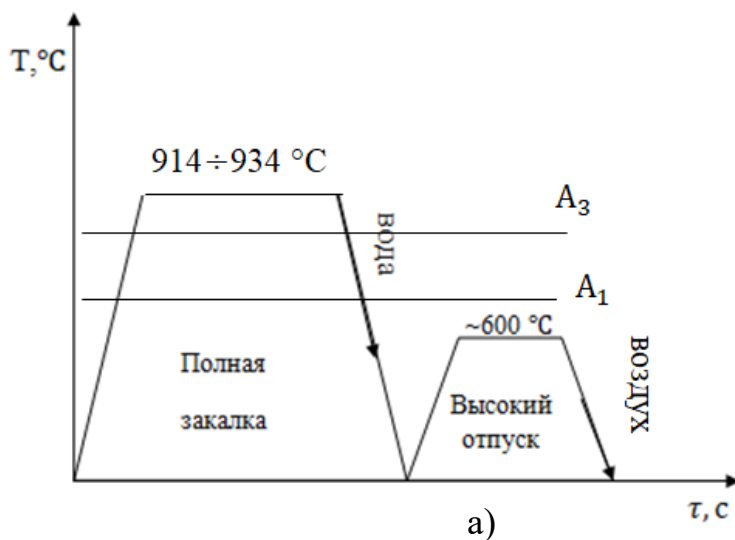
Термическая обработка заключается в нагреве стали до определенной температуры, регламентированной выдержке при этой температуре и последующем охлаждении. Ее основными параметрами являются температура нагрева, длительность выдержки, скорости нагрева и охлаждения.

4.1 Режим термообработки для горячедеформированных труб

Трубы из стали 13ХФА подвергают термической обработке, включающей в себя, как правило, закалку и высокий отпуск (улучшение) для выравнивания структуры металла и получения комплекса требуемых свойств.

Режим термообработки труб для стали 13ХФА в зависимости от толщины может представлять собой:

- полная закалка + отпуск;
- полная закалка + закалка из МКИ + отпуск;
- нормализация + закалка из МКИ + отпуск (рисунок 4.1) [3].



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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

35

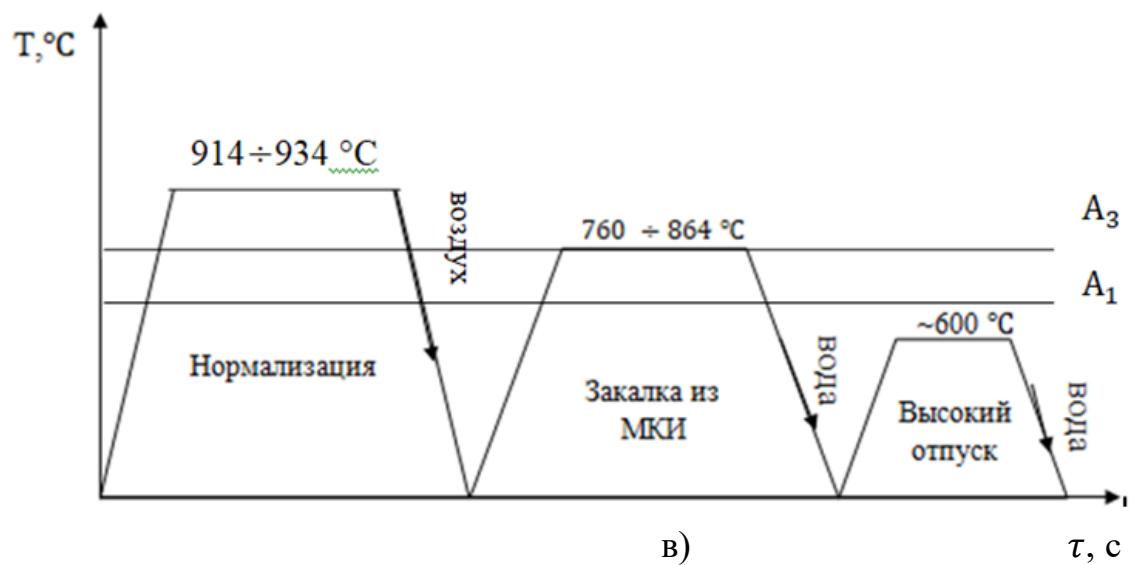
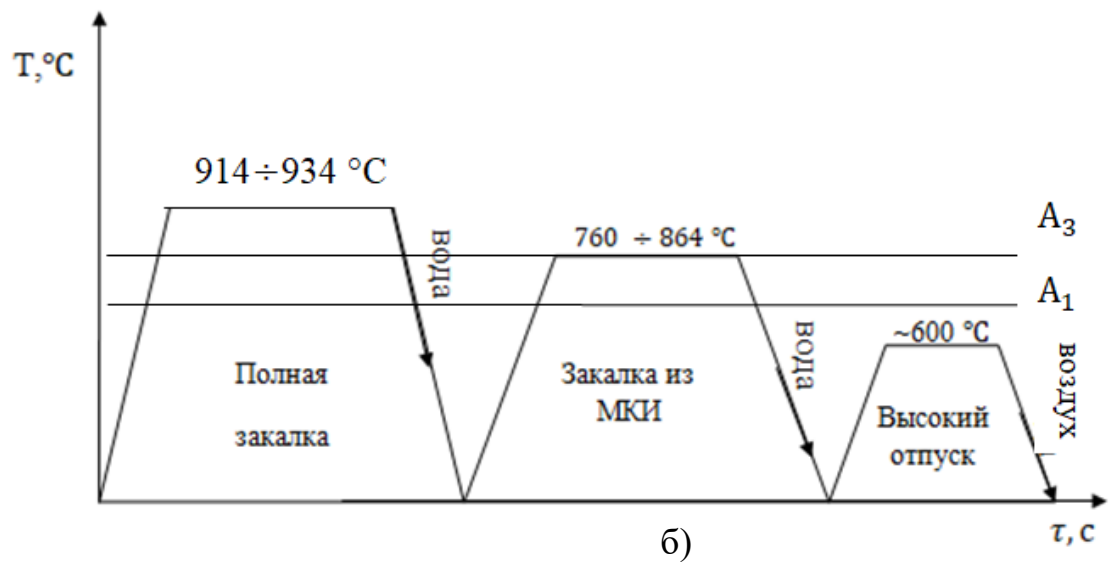


Рисунок 4.1 – Режим термической обработки труб из стали 13ХФА: а) – полная закалка + высокий отпуск; б) полная закалка + закалка из МКИ + высокий отпуск; в) нормализация + закалка из МКИ + высокий отпуск

4.2 Закалка

Закалка – это вид термической обработки, осуществляемый на готовых изделиях. Закалке подвергают углеродистые и легированные стали в целях получения мартенситной структуры, которая обеспечивает упрочнение стали. Для закалки стали на мартенсит необходимо нагреть изделие до аустенитного состояния, а затем после некоторой выдержки охладить со скоростью большей верхней критической скорости закалки ($V_{ВКЗ}$). В результате в структуре закаленной стали основной структурной составляющей является мартенсит и некоторое количество остаточного аустенита, а также могут присутствовать карбидные частицы. Мартенситная структура обеспечивает существенно

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

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

36

больший уровень прочности, чем продукты промежуточного и диффузионного превращений. А присутствие в структуре остаточного аустенита отрицательно сказывается на упрочнении при закалке.

Также при закалке возможно образование бейнита, если охлаждение из аустенитной области происходит со скоростями большими, чем нижняя критическая скорость закалки ($V_{нкз}$), но меньшими, чем критическая скорость образования бейнита (V_6), определяющаяся минимальной устойчивостью переохлажденного аустенита при температурах промежуточного превращения.

Бейнит представляет собой структуру, состоящую из α -твердого раствора, претерпевшего мартенситное превращение, частиц карбидов и остаточного аустенита. Различают структуру верхнего и нижнего бейнита, которые образуются соответственно в верхней и нижней частях температурного интервала промежуточного превращения. Верхний бейнит имеет неблагоприятное сочетание механических свойств: пониженная прочность из-за сохранения нераспавшего аустенита, низкие пластичность и вязкость, связанные с выделением грубых карбидов по границам ферритных зерен.

Нижний бейнит имеет игольчатое (пластинчатое) мартенситоподобное строение и обладает высокой прочностью и одновременно с достаточно высокими пластичностью и вязкостью. Такой комплекс свойств объясняется повышенным содержанием углерода и большей плотностью дислокаций в бейнитной α -фазе, а также образованием дисперсных карбидов, расположенных в кристаллах этой фазы.

Температура нагрева под закалку для доэвтектоидных легированных сталей рассчитывается по формуле:

$$t_H = A_{C3} + (50 \div 70) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где t_H – температура нагрева стали под закалку, $^\circ\text{C}$;

A_{C3} – верхняя критическая точка стали, $^\circ\text{C}$ (см. таблицу 1.2).

Тогда для стали 13ХФА температура нагрева под закалку будет равно:

$$t_H = 864^\circ + (50 \div 70)^\circ\text{C} = 914 \div 934 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Согласно диаграмме распада переохлажденного аустенита (см. рисунок 1.2), минимальная устойчивость аустенита при температуре $500 \text{ } ^\circ\text{C}$ составляет 1,3 с. Определим верхнюю критическую скорость закалки стали 13ХФА:

$$V_{ВКЗ} = \frac{A_{C1} - t_{min}}{1,5\tau} = \frac{755 - 500}{1,5 \cdot 1,3} = 130,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c} \quad (2)$$

Такая скорость охлаждения реализуется, если применить в качестве закалочной среды воду. Основное достоинство воды как закалочной жидкости является высокая скорость охлаждения в температурном интервале диффузионного превращения [18].

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ				

Проведение закалки сопровождается возникновением высоких внутренних напряжений, которые могут стать причиной коробления изделия и появления закалочных трещин. Для исключения этого после закалки проводится отпуск [6, 5, 19].

4.3 Нормализация

При нормализации сталь нагревают до аустенитного состояния и после непродолжительной выдержки охлаждают на спокойном воздухе. По существу нормализация – это тот же полный отжиг, но осуществляемый с ускоренным охлаждением, и является более экономичной операцией. Она широко используется для улучшения структуры и свойств углеродистых и низколегированных сталей с невысокой устойчивостью переохлажденного аустенита. При нормализации повышается дисперсность феррито-цементитной структуры и увеличивается количество перлита.

В ряде случаев нормализация обеспечивает формирование более благоприятной структуры, чем отжиг. Нормализация горячекатаной стали (по сравнению с отжигом) обеспечивает получение более чистой поверхности, повышает ее сопротивление хрупкому разрушению, снижая порог хладноломкости и повышая работу развития трещины [6, 19].

Температура нагрева под нормализацию для доэвтектоидных легированных сталей аналогично рассчитывается, что и для нагрева под закалку. Для стали 13ХФА она составляет:

$$t_n = 864 + 50 \div 70 = 914 \div 934 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.4 Закалка из межкритического интервала температур

Закалка из межкритического интервала температур (закалки из МКИ) – это разновидность закалки, применяемая при термической обработке доэвтектоидных сталей. Особенность этой закалки заключается в том, что сталь нагревают до межкритических температур – между A_{C1} и A_{C3} . При таком нагреве формируется двухфазная структура, состоящая из феррита и аустенита. При последующем быстром охлаждении аустенит претерпевает превращение в мартенсит, а феррит при охлаждении не испытывает полиморфного превращения. Поэтому закалку из МКИ можно определить как неполную закалку.

При выдержке доэвтектоидной стали в межкритическом интервале происходит перераспределение углерода, примесей и легирующих элементов между аустенитом и ферритом. Концентрация углерода в аустените значительно превышает его среднее содержание в стали, напротив содержание углерода в феррите снижается. Обогащение аустенита углеродом в процессе выдержки приводит к увеличению его устойчивости при охлаждении в

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ					

температурном интервале диффузионного превращения, что облегчает осуществление закалки. Мартенсит, образующийся при закалке на месте обогащенного углеродом аустенита, характеризуется более высокой твердостью, чем мартенсит, возникающий при полной закалке с нагревом выше точки $A_{с3}$. А рафинированный от примесей феррит обеспечивает высокую пластичность этой структурной составляющей.

При закалке доэвтектоидной стали, легированной в небольших количествах (до 1,0 – 1,5 %) марганцем, кремнием, хромом и другими элементами, формируется двухфазная структура, состоящая из мелкозернистого феррита и дисперсных участков мартенсита, расположенных в основном по границам ферритных зерен.

Количество структурных составляющих можно регулировать, изменяя температурно-временные условия нагрева. Чаще всего они выбираются такими, чтобы в структуре присутствовало 10 – 30 % мартенсита. Поэтому после закалки из МКИ при достаточно высоком пределе прочности формируется более высокая пластичность и ударная вязкость [6, 19].

Температура нагрева под закалку из межкритического интервала для стали 13ХФА составляет:

$$t_{\text{н}} = 760 \div 864 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.5 Высокий отпуск

Отпуск – вид термической обработки, которая заключается в нагреве закаленной стали до температур, не превышающих точку A_1 . Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которого сталь получает требуемые механические свойства, а также полностью или частично устраняет внутренние напряжения, возникающие при закалке. В зависимости от температурного интервала принято различать три вида отпуска:

- низкий отпуск – при 120 – 250 °С;
- средний отпуск – при 350 – 450 °С;
- высокий отпуск – при 500 – 680 °С.

Трубы из стали 13ХФА подвергаются после закалки высокому отпуску. Структура стали после высокого отпуска – феррито-карбидная смесь с зернистой морфологией карбидов (сорбит отпуска) (рисунок 4.2), который приводит к повышению коррозионной стойкости стали. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист 39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

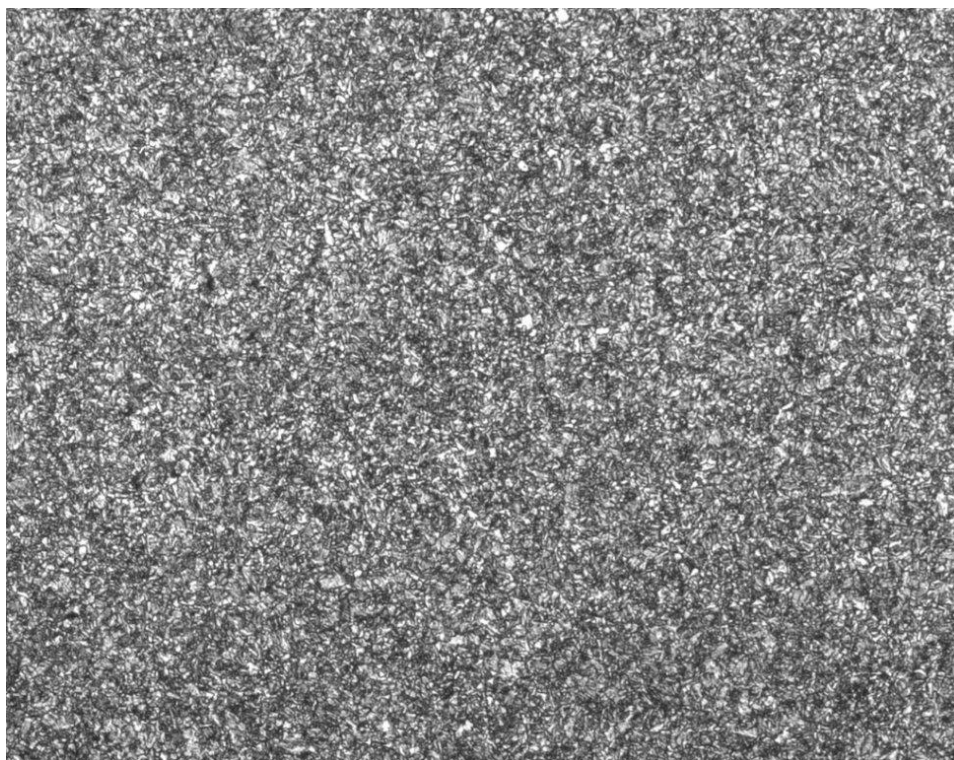


Рисунок 4.2 – Микроструктура стали 13ХФА после полной закалки и высокого отпуска, х 100

Закалка с высоким отпуском одновременно весьма сильно повышает временное сопротивление, предел текучести, относительное сужение и особенно ударную вязкость [6, 19].

4.6 Изменение механических свойств стали 13ХФА при закалке из аустенитной области и МКИ.

Рассмотрим сравнение комплекса механических свойств, получаемого в стали 13ХФА после:

- закалки из аустенитной области (930 °С) и высокого отпуска;
- двойной закалки: закалка (930 °С) + закалка из МКИ (790°С и 820°С) и высокого отпуска.

На рисунке 4.3 приведены зависимости изменения некоторых, наиболее важных механических характеристик от времени отпуска при варьировании температуры закалки.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

40

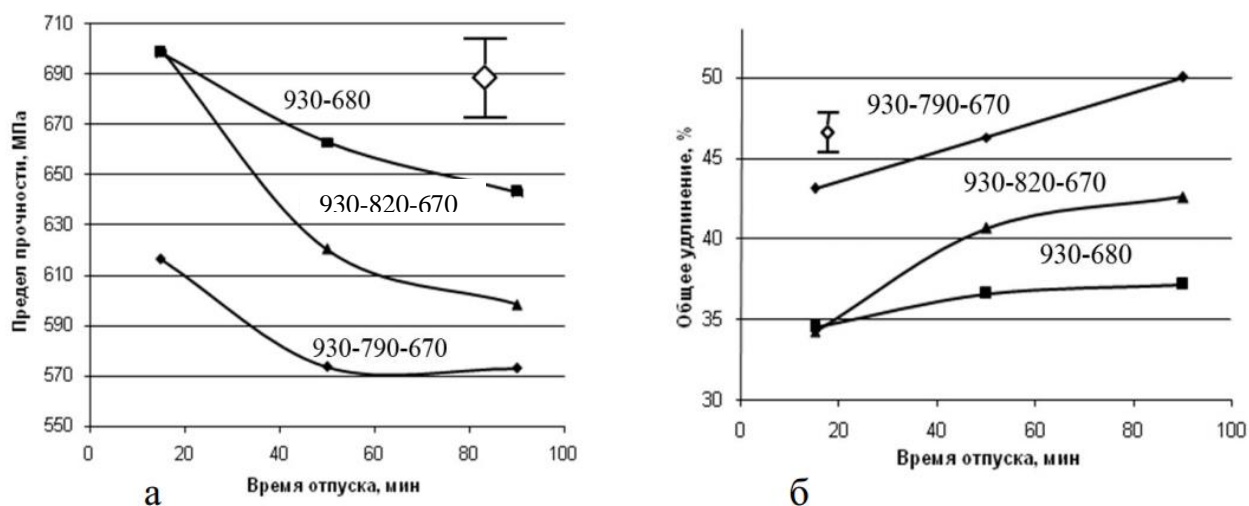


Рисунок 4.3 – Изменение механических свойств для стали 13ХФА: а) изменение предела прочности от времени отпуска; б) изменение относительного удлинения от времени отпуска

Из графика 4.2а видно, что значения предела прочности, достигаемые при отпуске стали 13ХФА предварительно закаленной от температуры 930 °С выше, чем значения предела прочности для стали подвергнутой двойной закалке 930 – 970 °С. Так, разница в значениях σ_B после 90 минут выдержки составляет 70МПа. При повышении температуры нагрева в МКИ до 820 °С значения предела прочности лежат выше значений предела прочности, чем температуры нагрева в МКИ до 790 °С, но ниже от температуры 930 °С.

Общее изменение относительного удлинения уменьшается. Т.е. повышение температуры нагрева под закалку, в рассматриваемых пределах ведет к снижению относительного удлинения данной стали.

Зависимость изменения ударной вязкости от времени отпуска приведена на рисунке 4.4.

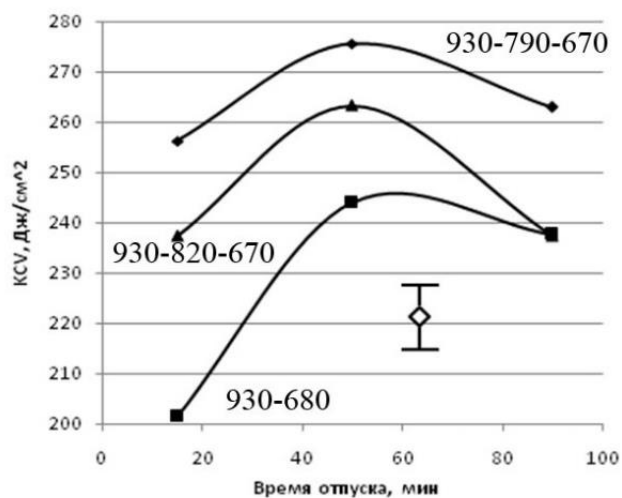


Рисунок 4.4 – Зависимость изменения ударной вязкости от времени отпуска для стали 13ХФА

На графике видно, что сталь после закалки из МКИ имеет более высокие значения ударной вязкости, чем после улучшения [20].

4.7 Анализ возможного брака и меры по его устранению

1) Дефекты при закалке:

а) недогрев - возникает в том случае, если сталь была нагрета до температуры ниже критической. В результате недогрева конструкционных (доэвтектоидных) сталей получается неполная закалка: в структуре наряду с мартенситом присутствуют участки феррита, что и является причиной пониженной твердости. Этот дефект можно исправить повторной закалкой. Иногда перед повторной закалкой деталей сложной формы дают отжиг для устранения внутренних напряжений.

б) перегрев - получается, если сталь была нагрета до температуры намного выше критической или при оптимальной температуре была дана слишком большая выдержка. При перегреве идёт рост зерна аустенита, в результате чего образуется крупнозёрнистый мартенсит, который имеет пониженную твердость и вызывает понижение ударной вязкости. Исправляется отжигом, закалкой

в) пережог - получается в том случае, если сталь была догрета до температуры близкой к температуре плавления. Пережог характеризуется оплавлением и в связи с этим окислением металла по границам зёрен, поэтому сталь становится очень хрупкой. Пережог является неисправимым браком.

г) закалочные трещины - возникают в результате резкого охлаждения или нагрева, перегрева, неравномерного охлаждения, наличие в деталях острых углов, рисок и т.п. Закалочные трещины могут получиться и в том случае, если после закалки деталь сразу не подвергли отпуску для снятия внутренних напряжений (особенно это важно для углеродистых инструментальных сталей). Для устранения растрескивания деталей при закалке необходимо обеспечить равномерный и более медленный нагрев (ввести предварительный подогрев детали), использовать закалку с остуживанием, в двух средах или ступенчатую, отпускать изделия непосредственно после закалки и т.д.

д) пятнистая закалка - возникает, если на поверхности детали окалина, загрязнение, неравномерная структура. В некоторых зонах вместо мартенсита может быть троостит или сорбит. Этот брак устраняется путём очистки деталей и перед закалкой проводят контроль стали на однородность.

2) Дефекты, возникающие при отпуске

а) недоотпуск - получается при температуре отпуска ниже оптимальной, в результате чего сталь не получает требуемых свойств. Исправить недоотпуск можно дополнительным отпуском.

б) переотпуск - получается при температуре отпуска выше нормальной или изменении длительности отпуска. В результате переотпуска сталь не получает требуемых свойств. Сталь имеет пониженную твёрдость и прочность. Исправляется дефект отжигом, а затем закалкой с последующим отпуском при нормальной температуре [21].

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

5. ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 Оборудование для термической обработки бесшовных горячедеформированных труб

В качестве оборудования для термической обработки труб применяют различные электроустановки.

Трубы из стали 13ХФА подвергают термической обработке на индукционных установках типа ОКБ. Преимуществами термообработки на индукционной установке являются:

- высокая скорость нагрева;
- образование более мелкозернистого аустенита;
- ограниченное окалинообразование;
- малая разность температур по сечению.

На индукционных установках можно проводить такие термические операции, как: закалка, отпуск, отжиг, нормализация и аустенизация.

Закалочные установки для индукционного нагрева состоят из генератора токов высокой (низкой) частоты, понижающего трансформатора, конденсаторных батарей, индуктора, станка или приспособления и аппаратуры (реле времени, реле управления подачей закалочной жидкости и другие устройства).

Процесс термообработки (закалка + отпуск) на индукционной установке состоит в следующем: трубы непрерывно-последовательным потоком при прохождении через катушку первого индуктора (нагревателя) 1 нагреваются до необходимой температуры, соответствующая закалке. Затем, трубы попадают в магнитное поле индуктора – термостата 2, где происходит равномерный прогрев всего тела труб. После они попадают в спрейер 3, где охлаждаются. Затем, трубы либо движутся к следующему индуктору для нагрева под отпуск 4, 5, 6, либо задаются на охлаждающий стол (рисунок – 5.1).

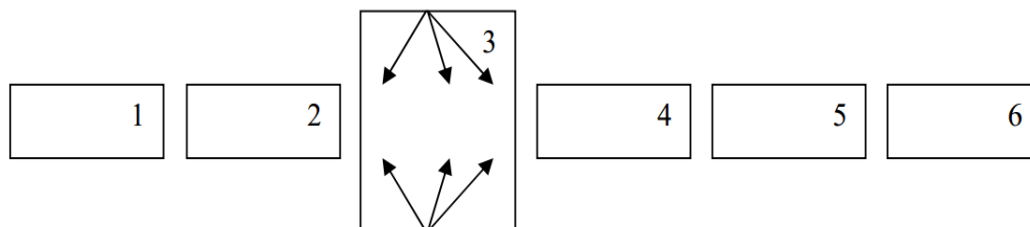


Рисунок 5.1 – Схема индукционной установки: 1, 2 – закалочные индукторы; 3 – спрейер; 4, 5, 6 – отпускные индукторы

Сам индуктор представляет собой соленоид 1 из профилированной медной трубки и залитый в огнеупорную пористую массу 3 (рисунок 5.2). При нагреве коротких деталей (с длиной меньше, чем длина индуктора) их перемещение

осуществляется по направляющим 2. С обеих сторон индуктора устанавливается вспомогательное оборудование – ролики для передвижения изделия по индуктору [22].

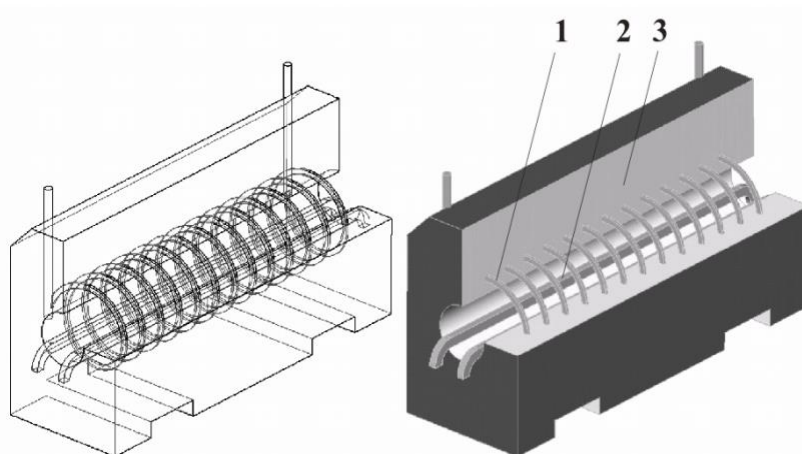


Рисунок 5.2 – Схема проходного индуктора с теплоизоляцией из жаростойкого бетона [22]: 1 – водоохлаждаемая спираль из медных трубок; 2 – направляющие полозки; 3 – пористая огнеупорная масса

Спрейерное устройство (рисунок 5.3) состоит из трех колец щелевого типа 1, 2 и 3 и душирующего устройства (трубчатой секции спрейера). Секции спрейера устанавливаются перпендикулярно оси трубы. Очаг охлаждения представляет собой сплошное равномерное кольцо. В первом кольце идет максимальное охлаждение по направлению движения трубы, а во втором и третьем кольце – выравнивание температуры по толщине стенки.

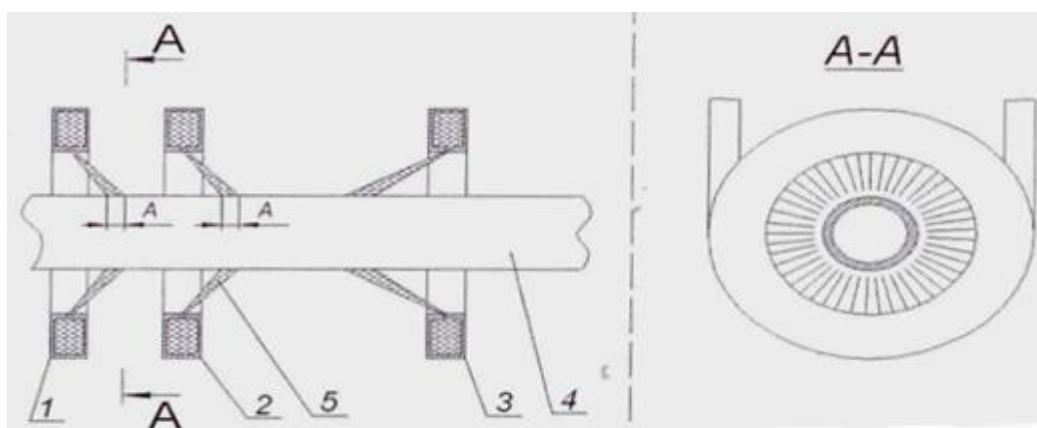


Рисунок 5.3 – Схема спрейерного устройства: 1 и 2 – кольца щелевого типа для подачи воды по направлению движения труб; 3 – кольцо подачи воды в направлении противоположном движению труб; 4 – труба; 5 – струя воды

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

45

5.2 Тепловой расчет индуктора-нагревателя

Тепловой расчет индукционной установки сводится к составлению теплового баланса, который представляет собой уравнение, связывающее приход и расход тепла. При проектировании индукционной установки тепловой баланс составляют с целью определения расчетной мощности. Расчетная мощность тратится на нагрев металла (полезная мощность) и на тепловые потери. Тепловые потери представляют собой энергию, которая уносит охлаждающая индуктор вода, и энергию излучения в окружающее пространство с торцов индуктора.

В таблице 5.1 представлены технические характеристики индукционной установки ОКБ-873.

Таблица 5.1 – Технические характеристики индукционной установки ОКБ-873

Характеристика	Значение
Максимальная температура нагрева, °С	1100
Температура трубы на выходе, °С	800
Мощность, кВт	1350
Напряжение, В	750
Ток контура, А	1735
Частота, Гц	500
Расход охлаждающей воды, м ³ /час	13,5
Длина индуктора, мм	1200
Производительность, т/час	5,87
Внутренний диаметр футеровки, мм	400
Внутренний диаметр по голой меди, мм	470
Температура охлаждающей воды, °С:	
на входе	20
на выходе	50

Расходные статьи:

1. Полезная мощность, расходуемая на нагрев металла

$$N_M = P_M \cdot c_M \cdot \Delta t_M, \text{ кВт} \quad (1)$$

где P_M – производительность печи, кг/с;

c_M – удельная теплоемкость металла, кДж/кг · К

Δt_M – разность температур трубы после и до нагрева в индукторе, °С.

$P_M = 5,87 \text{ т/час} = 1,63 \text{ кг/с}$.

Средняя теплоемкость для стали 13ХФА равна $c_M = 0,46 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$.

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ				

$$\Delta t_M = t_{Mк} - t_{Mн}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2)$$

$$\Delta t_M = 800 - 20 = 780 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$N_M = 1,63 \cdot 0,46 \cdot 10^3 \cdot 780 = 584,8 \text{ кВт}.$$

2. Тепловые потери, связанные с охлаждающей водой индуктора

$$N_{ОВ} = G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot \Delta t_{\text{вод}}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где $G_{\text{вод}}$ – расход охлаждающей воды, кг/с;

$c_{\text{вод}}$ – теплоемкость воды, кДж/кг · К;

$\Delta t_{\text{вод}}$ – разность температуры воды на выходе и на входе индуктора, $^\circ\text{C}$.

$$G_{\text{вод}} = 13,5 \text{ м}^3/\text{час} = 3,75 \text{ кг/с},$$

$$c_{\text{вод}} = 4,187 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

$$\Delta t_{\text{вод}} = t_{\text{вод.к}} - t_{\text{вод.н}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$\Delta t_{\text{вод}} = 55 - 20 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$N_{ОВ} = 3,75 \cdot 4,187 \cdot 10^3 \cdot 35 = 549,5 \text{ кВт}.$$

3. Потери излучением в окружающее пространство с торцов индуктора

Потери излучением можно определить по формуле:

$$N_{\text{ИЗЛ}} = \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{П.изл}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{окр}}}{100} \right)^4 \right] \cdot F, \text{ кВт} \quad (5)$$

где $\varepsilon = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ – константа излучения абсолютно черного тела;

$T_{\text{П.изл}}$ – температура излучаемой поверхности, К;

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, К;

F – площадь излучаемой поверхности, м^2 .

Площадь излучаемой поверхности определим по формуле:

$$F = \frac{\pi \cdot D_{\text{во}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (6)$$

где $D_{\text{во}}^2 = 0,4 \text{ м}$ – диаметр выходного отверстия печи.

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,13 \text{ м}^2;$$

$$N_{изл} = 5,67 \cdot \left[\left(\frac{1073}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,13 \cdot 2 = 19,43 \text{ кВт.}$$

5.3 Составление теплового баланса

Просуммировав отдельно приходные и расходные статьи теплового баланса и приравняв $Q_{прих} = Q_{расх}$, получим тепловой баланс для индуктора-нагревателя (таблица 5.2). Для электрических печей:

$$Q_{прих} = N;$$

где - N – расчетная мощность печи, значение которой находят при суммировании расходных статей теплового баланса.

Таблица 5.2 – Тепловой баланс индуктора-нагревателя

Статьи прихода	кВт	%	Статьи расхода	кВт	%
Мощность индуктора	1153,73	100	Полезное тепло, расходуемое на нагрев металла	584,8	50,69
			Тепловые потери, связанные с охлаждающей водой индуктора	549,5	47,63
			Потери излучением в окружающее пространство торцов индуктора	19,43	1,68
Итого	1153,73	100	Итого	1153,73	100

5.4 КПД индуктора-нагревателя

Обычно КПД электрических печей и установок составляет 50...80%.

Из составленного теплового баланса для индуктора-нагревателя найдем ее коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{N_M}{N_{\Sigma}} \cdot 100, \% \quad (7)$$

$$\eta = \frac{584,8}{1153,73} \cdot 100\% = 50,69 \%$$

Полученное значение укладывается в приведенный интервал КПД для индуктора-нагревателя.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены особенности влияния углерода, легирующих элементов и примесей на структуру и свойства стали 13ХФА.

Описаны технологические процессы выплавки и разливки данной стали, технология горячей прокатки бесшовных труб с использованием пилигримового стана, а также режимы термической обработки труб из стали 13ХФА.

Приведены особенности изменения механических свойств стали 13ХФА при закалке из аустенитной области и межкритического интервала температур.

Проведен расчет теплового баланса индуктора-нагревателя для нагрева труб.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

ЛИТЕРАТУРА

1. Матросов, Ю.И. Сталь для магистральных трубопроводов / Ю.И. Матросов, Д.А. Литвиненко, С.А. Голованенко. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
2. Тюсенко, А.С. Коррозионная стойкость стали 13ХФА / А.С. Тюсенко // Сталь. Серия «Металловедение и термическая обработка». – 2016. – №2. – С. 53–57
3. Технические условия ТУ 1319-369-00186619-2012. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные нефтегазопроводные повышенной коррозионной стойкости для месторождений ОАО НК «Роснефть»
4. Попов, А.А. Справочник термиста. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: справочник / А.А. Попов, Л.Е. Попова. – М.: Машгиз, 1961 – 430 с.
5. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасова, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 6-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 648 с.
6. Смирнов, М.А. Основы термической обработки стали: учебное пособие / М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 496 с.
7. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. / ред. Совет К.В. Фролов и др., Т. II-2: Стали. Чугуны. / Г.Г. Мухин, А.И. Беляков, Н.Н. Александров и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 784 с.
8. Безручко, И.И. Обработка металлов давлением / И.И. Безручко, М.Е. Зубцов, Л.Н. Балакина. – Л.: Машиностроение, 1967. – 314 с.
9. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ Академкнига, 2005 – 768 с.
10. Рошин, В. Е. Электрометаллургия и металлургия стали: учебник / В.Е.Рошин, А.В.Рошин. - 4-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 572 с.
11. Кудрин, В.А. Внепечная обработка стали и чугуна / В.А. Кудрин. – М.: МИСиС, 1992. – 256 с.
12. Линчевский, Б.В. Металлургия черных металлов: Учебник для техникумов / Б.В. Линчевский, А.Л. Соболевский, А.А. Кальменев – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. – 360 с.
13. Технология и оборудование трубного производства: учебник для вузов / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов; под ред. В.Я. Осадчего. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.
14. Данченко В.Н. Технология трубного производства: Учебник для вузов / В. Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 640 с.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

15. Мaстрюков, Б.С. Теория, конструкция и расчеты металлургических печей. Т. 2. Расчеты металлургических печей / Б.С. Мaстрюков. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.

16. Тайц, Н.Ю. Методические нагревательные печи / Н.Ю. Тайц, Ю.И. Розенгарт. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Металлургиздат, 1964. – 408 с.

17. Шевакин, Ю.Ф. Производство труб / Ю.Ф. Шевакин, А.З. Глейберг. – М.: Металлургия, 1968. – 440 с.

18. Люты, В., Закалочные среды: справочник / В. Люты. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 192 с.

19. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин. – 3-е изд. – М.: Металлургия, 1984. – 360 с.

20. Беликов, С.В. Изучение изменения механических свойств стали 13ХФА при закалке из аустенитной области и МКИ / С.В. Беликов, М.С. Карабаналов, О.Ю. Корниенко, К.И. Сергеева // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I междунар. Интерактив. Науч.-практ. конф.– Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2012. – Ч. 1. – с. 240-242

21. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. А.С. Зубченко, – 2-е изд., - доп. и испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

22. Корягин, Ю.Д. Индукционная закалка сталей: Учебное пособие / Ю.Д. Корягин, В.И. Филатов. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2006. – 52 с.

					22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

53

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

22.03.02.2018.447.00.000 ПЗ

Лист

49