

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский Государственный Университет»
(национальный исследовательский университет)

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ Д.А. Винник
« ____ » _____ 2020 г.

Технология производства горячекатаных труб
из марки стали 13ХФА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ПРОЕКТУ)

Руководитель проекта
_____ С.И. Ильин
« ____ » _____ 2020 г.

Автор проекта
студент группы ПЗ-547
_____ А.Д. Антипова
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер

« ____ » _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Антипова А.Д. Технология производства горячекатаных труб из марки стали 13ХФА. – Челябинск: ЮУрГУ, 2020, 73 с, 40 ил., библиографический список – 17 наименований, 12 листов слайдов презентации.

В данной работе представлены технологические процессы изготовления горячекатаных бесшовных труб из марки стали 13ХФА. В ней приводятся особенности легирования и эксплуатационные требования к низкоуглеродистым трубным сталям. Также описана технология выплавки непрерывнолитой заготовки, процесс горячей прокатки труб с использованием пилигримового стана и освещены особенности проведения термической обработки труб с применением закалки из межкритического интервала температур. Проведен расчет теплового баланса индукционной печи для нагрева труб.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Технология производства горячекатаных труб из стали марки 13ХФА	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Антипова А.Д.						4	72
Провер.	Ильин С.И.							
Реценз.								
Н. Контр.	.							
Утверд.	Винник Д.А.					ЮУрГУ Кафедра ФМиФТТ		

Содержание

Введение.....	6
1 Общая характеристика стали 13ХФА и ее применение.....	8
1.1 Химический состав и свойства стали.....	8
1.2 Особенности легирования стали 13ХФА.....	10
1.3 Условия эксплуатации и требования, предъявляемые к изделиям.....	13
2 Получение непрерывнолитой заготовки.....	17
2.1 Краткая характеристика ЭСПК «Железный озон 32».....	17
2.2 Выплавка стали	20
2.3 Внепечная обработка стали.....	26
2.4 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок.....	29
3 Изготовление бесшовных горячедеформированных труб.....	35
3.1 Перечень технологических операций при производстве горячекатаных труб.....	35
3.2 Нагрев и прошивка заготовок в гильзы.....	35
3.3 Прокатка гильз на пилигримовом стане.....	41
3.4 Прокатка труб на калибровочном стане.....	45
4 Термическая обработка труб.....	49
4.1 Режимы термообработки горячедеформированных труб.....	49
4.2 Особенности закалки из межкритического интервала температур.....	56
4.3 Лабораторные испытания по результатам термической обработки.....	61
4.4 Расчёт теплового баланса индуктора – нагревателя.....	64
5 Охрана труда и промышленная безопасность на трубном производстве....	68
Библиографический список.....	72

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Введение

Современный уровень развития трубного производства в России и за рубежом характеризуется большим разнообразием применяемых способов и технологий для производства бесшовных труб, каждому из которых присущи свои особенности, достоинства и недостатки.

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

- труба бесшовная горячедеформированная;
- холоднодеформированная;
- цельнотянутая.

Бесшовные горячедеформированные (горячекатаные) трубы широко используются в нефтяной и газовой промышленности для строительства различных трубопроводов, газлифтных систем, обустройства газовых месторождений, обсаживания буровых скважин, для морских подводных трубопроводов, в тепловой и атомной энергетике, машиностроении, судостроении, авиастроении и т. д.

В виду высокой прочности готовых труб, трубы используются в тех отраслях, где к трубопроводной арматуре выдвигаются очень высокие требования – в нефтяной промышленности и газовой сфере, а также ряде других направлений, где авария может привести не просто к серьезным убыткам, но и повредить жизни и здоровью людей, а также стать причиной загрязнения окружающей среде. Кроме того, трубы стальные бесшовные применяются в автомобилестроении в качестве отдельных деталей машин, и в котельных установках. Такие трубы используются везде, где требуется

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

прочность и большая пропускная способность. Кроме того горячекатаные трубы используют в качестве заготовок при изготовлении баллонов.

Учитывая специфику применения бесшовных горячекатаных труб, очевидно, что их изготовление должно производиться исключительно из легированной стали, обладающей повышенной устойчивостью к действию коррозии, причем как с внешней, так и с внутренней стороны. Объясняется это тем, что, с одной стороны, трубы подвергается действию со стороны агрессивной рабочей среды, что может привести к нежелательным химическим реакциям и разрушению ее внутренней поверхности. С другой стороны, проложенные в земле, стальные трубы подвергаются воздействию почвенной коррозии, что также может отрицательно сказаться на их целостности и герметичности.

Большое значение для улучшения механических свойств металла играет термическая обработка труб. После термообработки микроструктура металла располагается однородно по всей поверхности трубы, при этом повышается прочностные и вязкопластические характеристики металла. Термообработка проходит в два этапа: закалка и отпуск. В процессе закалки металла полностью устраняется напряжение в трубах, а напряжение, возникшее от закалки, исчезает благодаря последующему отпуску. В связи с такой многоуровневой обработкой сталь менее подвержена хрупкому разрушению в связи с различными внешними воздействиями. Также интенсивная термообработка даёт более высокий уровень ударной вязкости у изделий, что обеспечивает их устойчивость к пониженным температурам и позволяет использование труб в неблагоприятных условиях Севера.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Общая характеристика стали 13ХФА и ее применение

1.1 Химический состав и свойства стали

Сталь 13ХФА относится к низколегированным жаропрочным сплавам. Он классифицируется как низкоуглеродистая конструкционная коррозионно-хладостойкая легированная сталь. Отличается особыми свойствами металла.

Изделия из этого материала отличаются особыми эксплуатационными характеристиками. Изделия хладостойкие, обладают повышенной защитой от коррозии, не восприимчивы к различным внешним воздействиям устойчивы к сульфидному растрескиванию и образованию водородных трещин. В целом изделия являются особо прочными и надежными элементами трубопроводной системы и предназначаются для эксплуатации в условиях высокой химической активности и низких температур среды.

Подобные свойства отводам 13ХФА придают технологические раскисляющие примеси: марганец, кремний - и легирующие элементы: хром, никель, медь. Содержание вредной примеси серы составляет менее 0,03%, на что указывает литера "А" (высококачественная) в конце маркировки стали.

Химический состав и эксплуатационные характеристики стали 13ХФА регламентируются нормами ГОСТ 8732-78 и ГОСТ 8731-74.

У данной стали существуют следующие заменители:

- 09СФА,
- 20ХФА,
- 15ХФА.

Они также надежны и обладают похожими техническими свойствами.

Химический состав и температура критических точек стали приведены в таблице 1.1.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Таблица 1.1 – Химический состав и критические точки стали 13ХФА, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Al	Cu	S	P	N
0,11 – 0,17	0,17 – 0,37	0,4 – 0,65	0,5 – 0,7	≤ 0,25	0,04 – 0,09	0,02 – 0,05	≤ 0,25	менее 0,03	меньше 0,03	меньше 0,008
Температура критических точек, °С										
A _{C1}		A _{C3}		A _{r1}		A _{r3}		M _n		
760		864		-		790		270		

Сталь 13ХФА имеет феррито-перлитную структуру, преимущественно округлой формы, полосчатость определяется общей ориентировкой структуры в направлении деформации без чётко выраженных полос.

Сталь 13ХФА применяется для производства бесшовных горячедеформированных труб с обычной и повышенной коррозионно-хладостойкостью, а также для изготовления трубных заготовок и трубопроводной арматуры (отводов, тройников, фланцев, переходов и других комплектующих).

Все эти изделия предназначены в основном для нефтяной и газовой промышленности. Там их применение довольно распространено, они используются:

- в технологических промысловых трубопроводах, перекачивающих нефть и нефтепродукты;
- в системах, транспортирующих нефть и газ;
- в оборудовании, поддерживающем пластовое давление в климате Крайнего Севера:
 - с температурой транспортируемых веществ от 5° до 40°С ;
 - при температуре воздуха от минус 60° до плюс 40°С;
 - при рабочем давлении до 7,4 МПа.
- во внутри промысловых трубопроводах, доставляющих сырую нефть из скважин;
- в газопроводах и напорных нефтепроводах, работающих под давлением около 4,6 МПа.

при статической и ударной нагрузке, повышает прокаливаемость и жаростойкость, режущие свойства и стойкость на истирание.

Присутствие никеля в легированных сталях способствует увеличению прочности и улучшению структуры. Он также улучшает коррозионную стойкость стали. К сожалению, никель имеет склонность разупрочнять сталь графитизируя любые присутствующие карбиды. Так как никель и хром обладают противоположными свойствами, их часто используют в сочетании (хромо-никелевые стали). Их преимущества дополняют друг друга, в то время как их нежелательные воздействия взаимно уравниваются.

Медь вплоть до 0,5 % содержания улучшает коррозионную стойкость легированных сталей.

Ванадий усиливает влияние других присутствующих легирующих элементов и сам оказывает на легированные стали множество самых разнообразных воздействий:

- его присутствие способствует формированию твердых карбидов;
- стабилизирует мартенсит в закаленных сталях и таким образом улучшает прокаливаемость и увеличивает предельное критическое сечение стали;
- уменьшает рост зернистости при термообработке и процессах горячей обработки;
- улучшает усталостную прочность сталей.

Постоянные (технологические) примеси являются обязательными компонентами сталей и сплавов, что объясняется трудностью их удаления как при выплавке, так и в процессе раскисления или из шихты - легированного металлического лома.

К постоянным примесям относят марганец, кремний, сера, фосфор, а также кислород, водород и азот.

Марганец вводят в стали как технологическую добавку для повышения степени их раскисления и устранения вредного влияния серы. Марганец считается технологической примесью, если его содержание, не превышает

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

0,8%. Марганец как технологическая примесь существенного влияния на свойства стали не оказывает.

Кремний также вводят в сталь для раскисления. Содержание кремния как технологической примеси обычно не превышает 0,37%. Кремний как технологическая примесь влияния на свойства стали не оказывает. В сталях, предназначенных для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12-0,25%.

Пределы содержания серы как технологической примеси составляют 0,035-0,06%. Повышение содержания серы существенно снижает механические и физико-химические свойства сталей, в частности, пластичность, ударную вязкость, сопротивление истиранию и коррозионную стойкость. При горячем деформировании сталей и сплавов большое содержание серы ведет к красноломкости. Кроме того, повышенное содержание серы снижает свариваемость готовых изделий.

Пределы содержания фосфора как технологической примеси составляют 0,025-0,045%. Фосфор, как и сера, относится наиболее вредным примесям в сталях и сплавах. Увеличение его содержания, даже на доли процента, повышая прочность, одновременно повышает текучесть, хрупкость и порог хладноломкости и снижает пластичность и вязкость. Вредное влияние фосфора особенно сильно сказывается при повышенном содержании углерода. В таблице 1.2 показано влияние легирующих элементов стали 13ХФА на её свойства.

Таблица 1.2 – Влияние легирующих элементов на свойства стали

Легирующий элемент	Ni	Cr	Cu(0,3-0,5%)
Входит в твердый раствор с Fe и упрочняет его	+	+	+
Увеличивает ударную вязкость	+	-	-
Расширяет область аустенита	+	-	-
Сужает область аустенита	-	+	-
Увеличивает прокаливаемость	+	-	-
Способствует раскислению	-	-	-
Образует устойчивые карбиды	-	+	-
Повышает сопротивление коррозии	+	+	+

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

здесь достаточно суровые, а системы, в основном, транспортируют соответственные агрессивные вещества.

В такой ситуации возникает необходимость найти сплав, трубы и детали из которого способны обеспечить высокую надежность магистрали и при этом будут доступные по стоимости. Решение было найдено в стали 13ХФА.

Трубы нефтегазопроводные используются преимущественно для добычи газонефтяных продуктов. Согласно ГОСТ 8732-78 этот вид изделий отличается от обычных аналогов стойкостью к коррозионному воздействию и отличными механическими характеристиками, при этом отдельные марки продукции подвергаются обязательному испытанию.

Трубы выпускаются длиной от 4 до 12,5 м. При их изготовлении используется сталь марок 20ФА, 20А, 20С, 13ХФА. ТУ 14-161-148-94 предусматривает ряд правил способа изготовления и испытания конечного продукта.

Согласно нормам изделия выпускаются диаметрами, величина которых лежит в пределах от 57 до 426 мм, а толщина их стенки – 6–16 мм.

Трубы сероводородные испытываются на прочность и проходят дефектоскопию. Специалисты тестируют изделия посредством гидравлического воздействия, проводят анализ коррозионной стойкости и сульфидного растрескивания.

Некоторые марки подвергаются обязательной термообработке, это условие отражено в своде правил, которые регламентируют производство данного вида труб. Изделия, как правило, выполняются из конструкционной легированной стали, нескольких марок, но преимущественно это сталь 13ХФА.

Механические свойства металла труб из стали 13ХФА обеспечиваются термической или термомеханической обработками и должны соответствовать по ТУ 1317-006.1-593377520-02 указанным в таблице 1.4 требованиям.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Таблица 1.4 - Механические свойства металла труб

Наименование показателя	Норма механических свойств для класса прочности К52
Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ² (кгс/мм ²), не менее	520 (52,0)
Предел текучести, σ_t , Н/мм ² (кгс/мм ²) не менее не более	372 (38,0) 491 (50,1)
Относительное удлинение, δ_5 , %, не менее	23,0
Отношение σ_t / σ_b , не более	0,85
Г твердость, HRB, не более	92
Ударная вязкость на продольных образцах KCV, Дж/см ² (кгсм/см ²), при температуре испытания минус 50°С, не менее:	98 (10)
Доля вязкой составляющей в изломе ударных образцов KCV, %, при температуре испытания минус 50°С, не менее:	50

Металл, по толщине стенки и длине труб, должен иметь микроструктуру, представленную мелкими зернами феррита и перлита с зернистой формой карбидов. Наличие мартенсито-бейнитной микроструктуры не допускается.

Размер зерна металла труб должен быть не крупнее размера зерна, соответствующего девятому номеру шкалы 1 ГОСТ 5639 (рисунок 1.1)

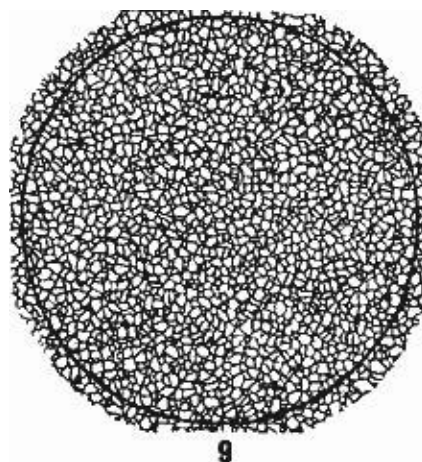


Рисунок 1.1 – Размер зерна №9 по ГОСТ 5639, ×100

входят: скрапной двор емкостью до 28 тыс. тонн металлолома, известково-обжиговое отделение производительностью до 320 тонн обожженной извести в сутки и участок замедленного охлаждения непрерывнолитых заготовок.

Технологический процесс производства трубной заготовки включает в себя: - подготовку металлолома к плавке;

- выплавку жидкого полупродукта в дуговой сталеплавильной печи (ДСП);

- доводку стали до нужного качества в агрегате "печь-ковш";

- дегазацию жидкой стали (при необходимости) в вакууматоре камерного типа;

- непрерывную разливку стали на МНЛЗ.

Краткий технологический процесс производства непрерывнолитых заготовок представлен на рисунке 2.2.

2.2 Выплавка стали

В настоящее время для массовой выплавки стали применяют дуговые электропечи, питаемые переменным током. Именно в них выплавляют основную часть высококачественных легированных сталей.

В электропечи можно получать легированную сталь с низким содержанием серы и фосфора, неметаллических включений, при этом потери легирующих элементов значительно меньше.

В процессе электроплавки можно точно регулировать температуру металла и его состав, выплавлять сплавы почти любого состава.

Электрические печи обладают существенными преимуществами по сравнению с другими сталеплавильными агрегатами, поэтому высоколегированные инструментальные сплавы, нержавеющие

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

- водоохлаждаемого свода, состоящего из большого водоохлаждаемого и малого неохлаждаемого, футерованного изделиями из огнеупорного бетона;

- механизма наклона печи для слива металла и скачивания шлака;
- механизма подъема и отворота свода для загрузки шихты;
- механизмов перемещения электродов;
- короткой сети (вторичный токоподвод) для передачи тока от выводов вторичных обмоток трансформатора до рабочих концов электродов.

Кожух печи выполнен в виде сменной двухсекционной конструкции и включает верхнюю и нижнюю части. Нижняя часть, является опорой кладки пода, её делают из стальных листов, и верхняя часть (выше порога рабочего окна), является опорой стеновых водоохлаждаемых панелей, её выполняют в виде решетчатого каркаса, он изготавливается из горизонтальных и вертикальных труб, они опираются на фланец нижней части кожуха (рисунок 2.4).

Технические характеристики дуговой сталеплавильной печи SMS – Demag (ДСП-120) приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики ДСП

Параметр	Значение
Номинальная емкость печи, м ³	142
Емкость печи, т	140
Номинальная масса плавки при выпуске, т	125
Болото, т	15-20±3
Мощность трансформатора, МВ·А	120
Тип выпуска плавки	эркерный
Диаметр выпускного отверстия, мм	180
Размер рабочего окна, мм	1000*1200
Количество рабочих ступеней трансформатора	17
Первичное напряжение, кВ	35±10%
Максимальное вторичное напряжение, В	1250
Номинальная сила вторичного тока, кА	70

Диаметр распада электродов, мм	1300
Внутренний диаметр подины, мм	7100
Внутренний диаметр кожуха, мм	7300
Диаметр электрода, мм	610
Длина электрода, мм	2400
Угол наклона печи для выпуска стали	мак.15°
Ход подъема свода, мм	400
Количество водоохлаждаемых горелок (природный газ - кислород)	Настенных – 3 шт; Эркерная – 1 шт; Дверная горелка – 1 шт
Количество инжекционных фурм для вдувания порошкообразного кокса	Настенных – 3 шт
Мощность кислородной горелки на выходе, МВт	6,0
Расход кислорода на одну горелку для горения, Нм ³ /ч	1200
Расход кислорода на одну горелку для вспенивания шлака (макс.), Нм ³ /ч	2200
Расход природного газа на одну горелку, Нм ³ /ч	600
Расход кислорода на дверную горелку, Нм ³ /ч	1000
Расход сжатого воздуха, Нм ³ /ч	2250
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6

Для отделения окислительного шлака от металла в современных дуговых сталеплавильных печах используют эркерные устройства. Схема дуговой сталеплавильной печи с эркерным выпуском металла приведена на рисунке 2.5.

В электропечи выплавляют полупродукт углеродистых и низколегированных сталей. Выплавка ведется одношлаковым процессом, методом переplava подготовленной металлошихты, загружаемой на «болото» жидкого металла и шлака от предыдущей плавки. Происходит это следующим образом.

Металлолом, поступивший на завод в железнодорожных вагонах или автомобилях, а также собственный оборотный лом (отходы ЭСПК, трубопрокатного производства ПНТЗ), с участка ломоподготовки (шихтового отделения) после сортировки и переработки загружаются в бадью. Загрузка

газов из металла. Параллельно ведется продувка металла аргоном с целью интенсификации этого процесса.

Основная идея технологии вакуумной обработки стали исходит из термодинамической возможности смещения равновесия химических реакций в сторону выделения газообразных продуктов в результате снижения атмосферного давления. Прежде всего, это относится к растворенному в стали водороду, азоту, а также кислороду. При этом в результате химической реакции с углеродом кислород выделяется из расплава в виде оксидов углерода, обеспечивая наряду с раскислением обезуглероживание стали.

Данное обстоятельство представляет особый интерес при производстве стали с особо низкой концентрацией углерода, а также высокохромистых низкоуглеродистых сплавов. При производстве стали с особо низкой концентрацией углерода растворенного в расплаве кислорода недостаточно для проведения глубокого обезуглероживания. Поэтому его вводят в металл под вакуумом через специальную кислородную фурму.

После обработки металла ковш с жидкой сталью помещают на МНЛЗ.

2.4 Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок

В состав МНЛЗ входят следующие основные технологические узлы:

- подъемно-поворотный стенд для сталеразливочных ковшей;
- тележки или подъемно-поворотные столы промежуточных ковшей;
- промежуточные ковши;
- кристаллизаторы и механизм их качания;
- затравки и механизмы для их перемещения и введения в кристаллизатор;
- конструкции зоны вторичного охлаждения;
- тянуще-выпрямляющие системы;
- приспособления для резки заготовки на мерные длины;
- оборудование для выдачи заготовок и транспортирования их из зоны

МНЛЗ.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Технологический процесс непрерывной разливки стали почти всегда выполняется автоматически. Режим разливки стали на МНЛЗ серийный «плавка на плавку». Серийность обеспечивается контактными графиками выпуска полупродукта из ДСП, внепечной обработки стали на АКП и УВОС и наличием двухпозиционного подъемно-поворотного станда (ППС) на МНЛЗ №1 и 2 для установки сталеразливочных ковшей с металлом перед началом разливки плавки.

После окончания внепечной обработки металла на АКП или на УВОС сталеразливочный ковш устанавливается на свободную позицию ППС. На ковш устанавливается гидроцилиндр шибера, ковш накрывается теплоизоляционной крышкой, после чего ППС перемещает ковш в позицию разливки (Рисунок 2.10). Скорость поворота станда обычно составляет 0,7 – 1,0 об/мин. При этом продолжительность прерывания струи металла, которой поступает в промежуточный ковш, не превышает 90с.

Промежуточный ковш представляет из себя емкость дельтообразной формы с установленными в днище стаканами-дозаторами и стопорами-моноблоками для регулирования потока металла в кристаллизаторы. После установки сталеразливочного и промежуточного ковшей в позицию разливки и открытия шибера начинается наполнение промежуточного ковша жидким металлом до заданного уровня, а затем открытие стопорами стаканов-дозаторов промковша и наполнение кристаллизаторов жидкой сталью. Кристаллизатор состоит из внешнего корпуса и установленной внутри него изогнутой конусной гильзы с зазором для водяного охлаждения между ними. Гильза изготавливается из специального сплава на основе меди (Cu-Ag) с внутренним хромистым покрытием. Внешний корпус кристаллизатора состоит из коррозионностойкой стали с механически обработанной внутренней поверхностью. Все кристаллизаторы оснащены электромагнитной мешалкой с целью получения плотной и равномерной структуры стального слитка.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Кристаллизатор предназначен для приема и удержания жидкой стали и для формирования корочки металла. Кристаллизатор оборудован системой автоматического поддержания уровня металла и системой смазки рабочей поверхности гильзы. В качестве смазки используют шлакообразующие смеси (ШОС) для разливки стали закрытой струей или минеральные масла для разливки стали открытой струей.

Узел качания кристаллизатора обеспечивает:

- 1) более равномерное распределение смазки по поверхности гильзы;
- 2) получение качественной поверхности заготовки;
- 3) увеличение срока службы гильзы кристаллизатора за счет уменьшения трения между стальной заготовкой и медной гильзой.

Качание кристаллизатора происходит вдоль радиуса литья с регулируемой амплитудой и частотой. Реальная траектория качания кристаллизатора совпадает с теоретической в строго определенных пределах.

После наполнения кристаллизатора жидким металлом до заданного уровня происходит автоматический запуск ручья: включается механизм качания кристаллизатора, подача воды на вторичное охлаждение, вытягивание заготовки введенной в нижнюю часть кристаллизатора затравкой. Затравка обеспечивает запуск ручья за счет того, что вначале удерживает жидкую сталь в кристаллизаторе (образует временное дно), а затем протягивает заготовку по всем поддерживающим роликам.

Присоединение головки затравки к ручью (заготовке) происходит с помощью расходуемого металлического холодильника (замораживателя), обеспечивающего его быстрое отсоединение, после чего затравки паркуются. Тянуще-правильный агрегат (ТПА) обеспечивает многорадиусное выпрямление заготовки на границе твердой и жидкой фаз, исключая образование как междендридных, так и поверхностных трещин.

Первичное охлаждение отливаемой заготовки происходит в кристаллизаторе за счет отдачи тепла жидкого металла гильзе кристаллизатора. Сформированный таким образом слиток заготовки

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

выводится из кристаллизатора на заданной регулируемой скорости, и внутренняя кристаллизация слитка завершается под воздействием водяного охлаждения в закрытой камере, именуемой «зоной вторичного охлаждения» (ЗВО).

Охлаждение в ЗВО производится с помощью расположенных в ней водораспылительных форсунок. На выходе из последней роликовой секции, заготовка имеет температуру 700-900°C.

По завершению кристаллизации, слиток заготовки выводится и правится с помощью правильного узла (ТПА), обеспечивающего правку его искривленной формы в прямую, и непрерывность резки на машинах газовой резки (МГР) на требуемые длины от 3500 до 12000 мм, в процессе которой выводимый слиток не приостанавливается, но продолжает свое движение.

По завершению своего выхода слиток заготовки разгружается на участок отгрузки.

В состав ЭСПК входят две современные МНЛЗ фирмы SMS-Siemag. Они позволяют производить разливку круглых заготовок различных профилей (от \varnothing 150 до \varnothing 600 мм) и широкого трубного марочного сортамента ПАО «ПНТЗ» и ПАО «ЧТПЗ». Сортная МНЛЗ (5-ти ручьевая) производит разливку заготовок по технологии FASTCAST (высокоскоростная разливка) рядового марочного сортамента на круг 150 мм с максимальной скоростью до 3,5 м/мин.

На блюмовой МНЛЗ (3-х ручьевая) производится разливка заготовок больших диаметров от 220 до 600 мм. Блюмовая МНЛЗ является примером современного мирового подхода к созданию новых универсальных криволинейных МНЛЗ, обеспечивающих разливку круглой заготовки диаметром от 460 до 600 мм. Технические характеристики МНЛЗ №1 и МНЛЗ №2 приведены в табл. 2.2 и 2.3.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

2. Порезка НЛЗ на краты;
3. Нагрев заготовок в методической печи;
4. Прошивка заготовок в гильзы;
5. Прокатка гильз на пилигримовом стане;
6. Удаление технологической обреза и порезка труб на пиле;
7. Контроль геометрических размеров и отбор темплетов для анализа химсостава металла труб;
8. Нагрев труб в газовой роликовой печи;
9. Прокатка труб на калибровочном стане;
10. Холодная правка труб на косовалковой машине;
11. Подрезка концов труб и нарезка фаски;
12. Контроль качества труб и ремонт (при необходимости);
13. Термообработка труб;
14. Отбор проб и проведение испытаний;
15. Окончательный приемо-сдаточный контроль;
16. Маркировка и отгрузка труб.

3.2 Нагрев и прошивка заготовок в гильзы

Все заготовки (НЛЗ) поступившие в трубопрокатный цех ТПЦ №1, подвергаются визуально-измерительному контролю качества на предмет обнаружения дефектов. В случае выявления заготовки не соответствующей требованиям нормативной документации, они бракуются до дальнейшего принятия решения об их использовании.

После этого заготовки, принятые контролем, разрезаются на краты необходимой длины и отправляются на разогрев печь. Нагрев слитков осуществляется в трехзонной методической печи. Методическая печь - проходная печь для нагрева металлических заготовок перед прокаткой. В методической печи заготовки проталкивают навстречу движению продуктов сгорания топлива, при таком противоточном движении достигается высокая степень использования теплоты, подаваемой в печь. Заготовки проходят

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

последовательно 3 теплотехнические зоны: методическую (зону предварительного подогрева), сварочную (зону нагрева) и томильную (зону выравнивания температур в заготовке). Методические печи классифицируют по конструктивным особенностям (с нижним обогревом, с наклонным подом и т. д.). Методические печи отапливают газообразным или жидким топливом (рисунок 3.1)

При работе печи по трехзонному режиму в первой по ходу металла зоне (методической) происходит нагрев металла за счет физического тепла продуктов сгорания которое завершается на границе зон I и II. Так как отдача физического тепла вызывает охлаждение газов то их температура по длине зоны I заметно снижается.

В зоне II – сварочной сжигается топливо и на поверхности нагреваемого материала достигается максимальная температура. Выделение тепла при горении в той или иной мере компенсирует отдачу тепла газами и этим сдерживается снижение их температуры. Очевидно что повышением тепловыделения в начале и конце зоны II путем соответствующего расположения горелок или форсунок можно добиться выравнивания температуры газов по длине всей зоны.

Назначением зоны III является выравнивание температуры в объеме нагреваемых заготовок.

Технические характеристики методических нагревательных печей в ТПЦ №1 ЧТПЗ приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные параметры методических печей

Наименование	Размерность	Величина
Основные размеры печей:		
рабочая длина подины	м	28,6
ширина подины	м	4,8
полезная площадь подины	м ²	91,5
Температура нагреваемых заготовок	°С	1150-1310
Размер нагреваемых заготовок	мм	D = 420-650 L = 1100-4100
Производительность печи	т/ч	36
Средняя тепловая мощность	кДж/час	837

двойную конусность и вращаются в одну сторону, в результате чего заготовка получает вращение, характерное для поперечной прокатки, и поступательное движение вследствие того, что оси валков расположены под некоторым углом α к осевой линии прокатки. На входном конусе происходит подготовка металла заготовки к прошивке на оправке; на выходном — утончение стенки гильзы между оправкой и валками. Пережим валков (место перехода от входного конуса к выходному) сглаживает участок перехода деформации сжатия заготовки по наружному диаметру к деформации расширения. Входные конусы валков делают или одинаковой длины, или несколько короче выходных. Большая длина выходного конуса обеспечивает получение гильз с геометрически правильной поверхностью и большим расширением. Углы наклона образующих входного (конуса прошивки) и выходного конусов примерно одинаковы и составляют $4\text{—}5^\circ$.

При вращении и поступательном движении заготовка постепенно подвергается обжатию по всей окружности и на всю длину. В зоне прошивки происходит скручивание заготовки, поэтому возможны трещины на ее поверхности.

Рисунок 3.2 – Схема прошивки заготовки в прошивном стане:

1- прокатные валки; 2- заготовка; 3- линейка-центрователь; 4- стержень; 5 – оправка; 6 – заготовка.

За один оборот заготовки каждая точка ее поверхности подвергается обжатию дважды. При обжатии заготовки она сплющивается в перпендикулярном направлении, вследствие чего ее поперечное сечение становится овальным. При такой знакопеременной деформации металл деформируемой заготовки испытывает различные напряжения в разных ее частях. В местах действия сил, обеспечивающих обжатие, возникают напряжения сжатия. При этом их максимальное значение будет на контактных поверхностях; к центру заготовки сжимающие напряжения убывают. В зоне прошивки величина напряжений сжатия возрастает. По

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

причине неравномерного распределения сил сжатия удлинение заготовки также происходит неравномерно; оно убывает от периферийных слоев к центру. На переднем (подвергаемом обжатию) конце заготовки образуется вогнутость, а в средних частях возникают растягивающие и скалывающие напряжения, нарушающие сплошность металла. Образование трещин начинается в центре заготовки, где напряжения максимальны, и идет в радиальных направлениях.

Образование осевой полости обусловлено разрушением металла заготовки и связано дефектами на внутренней поверхности гильзы в виде плен. Поэтому на практике прошивку ведут так, чтобы предупредить произвольное вскрытие осевой полости. Для этого носок оправки выдвигается на некоторое расстояние вперед перед линией пережима валков, что способствует образованию осевой полости правильного очертания и получению внутренней поверхности гильзы без плен.

На выходном конусе гильза раскатывается на оправке. Здесь конусность валков обратна конусности на входе, поэтому по мере продвижения гильзы ее наружный диаметр увеличивается. Заготовка, своей средней частью надвигается на неподвижную оправку, что способствует интенсивному образованию полости, которое начинается еще в зоне прошивки. На выходном конусе, как и на входном, наружные слои прокатываемой гильзы удлиняются больше по причине более значительного влияния сжимающих сил.

Длину заготовки (слитка) при прошивке принимают на основе расчетов и в соответствии с необходимой длиной трубы.

После прошивки гильзы продувают воздухом для удаления скопившейся внутри гильз окалины, с целью повышения качества внутренней поверхности.

3.3 Прокатка гильз на пилигримовом стане

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Прошивка слитков в гильзу и раскатка гильзы в готовую трубу осуществляются, как правило, с одного нагрева. Поэтому гильза после прошивки при температуре около 1100°С немедленно задается на пилигримовый стан.

Пилигримовый стан состоит из двухвалковой рабочей клетки, желоба для гильз, подающего аппарата, стержня оправки. Периодическое обжатие гильзы осуществляют валками, калибр которых имеет переменный радиус и вращаются валки в сторону, противоположную движению прокатанной трубы.

Агрегаты с пилигримовым станом могут иметь в своем составе две – четыре пилигримовых клетки. Так как скорость периодической прокатки относительно невысока, то при одном прошивном стане обычно устанавливают две пилигримовые клетки. Рабочая клетка пилигримового стана (рисунок 3.3) имеет две станины, установленные на мощном фундаменте и скрепленные сверху хомутами. В окнах станин установлены подушки с подшипниками верхнего и нижнего валка. Подушки нижнего валка закреплены неподвижно, а верхнего валка перемещаются в вертикальном направлении с помощью нажимного винта. Верхний валок с подшипниками и подушками уравнивают гидравлическим цилиндром и пружиной.

На пилигримовом (периодическом) стане в гильзу вводится оправка (дорн); затем гильза вместе с оправкой подается в валки диаметром 600—1000 мм (в зависимости от диаметров прокатываемых труб). Частота вращения валков 40—90 об/мин.

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ					

Гильзу на пилигримовом стане раскатывают не до конца, задняя ее часть остается недокатаной (рисунок 3.5). Эта часть (пильгерголовка), как и передний неровный отрезок трубы (затравочный конец), обрезается на дисковых пилах; здесь же при необходимости трубы разрезаются на нужные длины, затем проходят калибровку и другие отделочные операции.

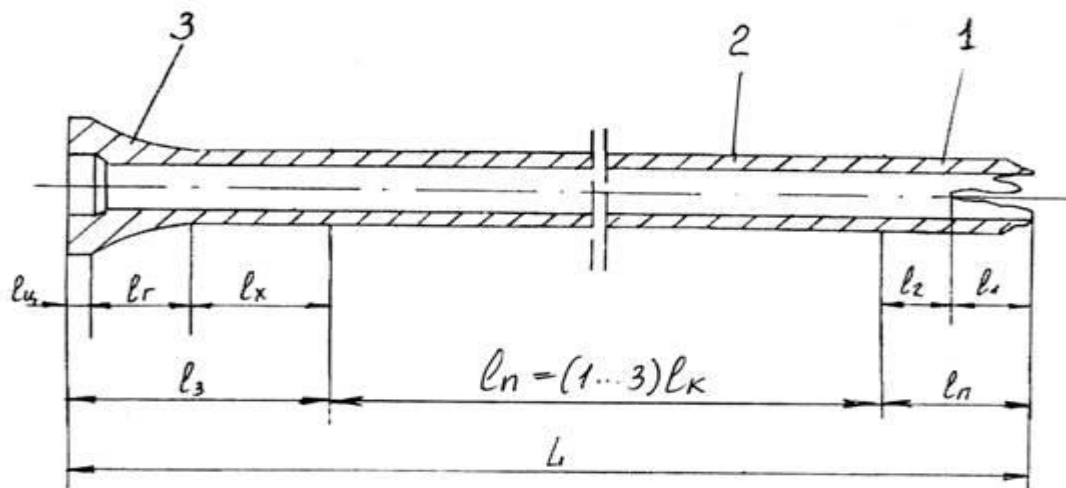


Рисунок 3.5 – Прокатанная «плеть» на пилигримовом стане:
1 – затравочный конец, 2 – основная годная часть трубы, 3 – пилигримовая головка

3.4 Прокатка труб на калибровочном стане

Трубы, прокатанные на непрерывных и полунепрерывных автоматических, пилигримовых, трехвалковых раскатных и речных станах, а также полученные прессованием, 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 редукционные станы.

Прежде чем попасть на калибровку, трубы проходят предварительный нагрев в газовой роликовой печи (ГРП). ГРП позволяет выровнять

продольной прокатки, причем рабочие клетки стана устанавливают обычно под углом 45° к горизонту и под углом 90° одна к другой. Этим обеспечивается обжатие заготовки в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рисунок 3.7).

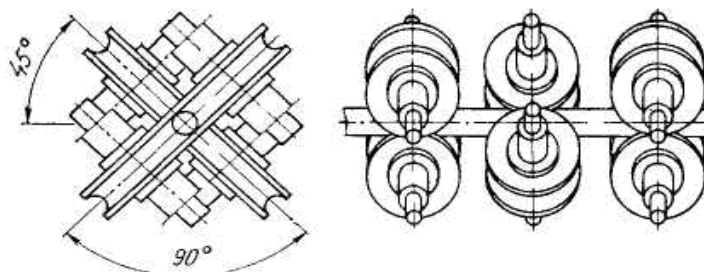


Рисунок 3.7 – Кинематическая схема клетки калибровочного стана

В состав главной линии каждой клетки калибровочного стана входит собственно рабочая клетка закрытого типа, имеющая одноручьевые валки и привод — кинематически связанные электродвигатель, комбинированный редуктор и универсальные шпиндельные соединения. Калибры валков обычно овальные, с постепенно убывающим отношением осей до 1,0 для последней клетки. В последней клетки валки с круглым калибром. Этим достигается правильная круглая форма трубы по выходе из последней клетки. Суммарное обжатие на калибровке в трех клетях составляет 2...3 мм, в семи 7...15 мм, в одиннадцати 10...20 мм.

В старых калибровочных станах клетки были снабжены групповым приводом. В современных калибровочных станах отечественной конструкции каждая клетка имеет индивидуальный привод валков. Это делает стан более маневренным, улучшает условия его ремонта.

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 машины различного типа. 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 ТПЦ №1 ЧТПЗ трубы правят на шестиролковых косовалковых правильных машинах (рисунок 3.8).

Для более точной правки продольной кривизны и поперечной овальности труб применяют многовалковые правильные станы с косорасположенными гиперболоидными валками. Косое расположение валков этих станов придает правящейся трубе вращательно-поступательное движение, обеспечивающее правку во всех плоскостях при многократном упруго-пластическом изгибе трубы, проходящей между валками, расположенными в одном случае в шахматном порядке, а в другом - друг против друга. Шестивалковый правильный стан имеет два приводных валка, находящихся по одну сторону оси правки, один с другой стороны и три холостых валка - по обеим сторонам оси. Средний валок - регулируемый, служит для нажатия на трубу и располагается между крайними валками, установленными друг относительно друга.

Овальность сечения трубы и продольная кривизна по окончании данного процесса этом устраняется.

Все оборудование участков производства горячекатаных бесшовных труб — от загрузочных устройств печей для нагрева металла до устройства выдачи труб за охлаждающими столами и правильными машинами — располагается в единой цепи без разрыва технологического потока. При этом полупродукт передается межоперационно рольгангами, транспортерами, решетками, переключателями и другими механизмами, обеспечивающими требуемую часовую производительность основного оборудования. На рисунке 3.9 представлена общая схема производства горячекатаных бесшовных труб - расположение комплекса оборудования и сооружений, обеспечивающих превращение исходной заготовки в черновую трубу, отличающуюся от готовой трубы отсутствием механической, химической и термической обработки (отделки труб).

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

После прохождения всех вышеописанных процедур трубы маркируются и отправляются в трубопрокатный цех №5 ЧТПЗ для прохождения термической обработки.

4 Термическая обработка труб

4.1 Режимы термообработки горячедеформированных труб

Условия использования труб в нефтегазовой промышленности требуют наличия высококачественных эксплуатационных свойств. Для достижения комплекса требуемых свойств все горячедеформированные трубы для нефтегазового сектора в обязательном порядке проходят термическую обработку. Термическая обработка является важнейшей составляющей в современной технологии производства труб.

Для выравнивания структуры металла, получения группы прочности не ниже K52 и сохранения пластических характеристик их подвергают термической обработке, включающей в себя, как правило, закалку и высокий отпуск.

После горячей прокатки в цехе ТПЦ №1 ЧТПЗ, трубы поступают в цех ТПЦ №5 для проведения термической обработки. Разгруженные с вагонов трубы выкладывают на входные стеллажи для визуального контроля качества, а затем с торцов устанавливаются заглушки для предотвращения попадания воды внутрь трубы. После этого трубы задают на конвейер установки для термообработки.

Для обеспечения требуемых механических свойств трубы в ТПЦ №5 термообрабатываются на проходных индукционных печах. Преимуществами термообработки на индукционных печах являются высокие скорости нагрева и, как следствие, образование более мелкого зерна аустенита и ограниченное окалинообразование.

На индукционных установках ТПЦ №5 производится нагрев труб под нормализацию, аустенизацию, отжиг, закалку и отпуск. Индукционные установки серии ОКБ (рисунок 4.1) состоят из следующих узлов:

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Также в состав установки входят приборы для контроля нагрева металла труб, приборы для контроля расхода воды при проведении закалки, пирометрические шкафы, пульт управления. Если конструкция индукционной установки позволяет проводить термообработку, включающую проведение двух последовательных операций (закалка с отпуском) в один проход, в линию нагрева устанавливаются дополнительные индуктора для проведения отпуска.

Процесс термообработки на индукционной установке ОКБ состоит в следующем: трубы задаются на входной рольганг непрерывно-последовательным потоком, при прохождении через катушку первого индуктора (нагревателя) труба нагревается до температуры, максимально приближенной к необходимой для закалки. Затем, попадая в магнитное поле индуктора – термостата (рисунок 4.2), происходит равномерный прогрев всего тела трубы, и температура достигает заданного значения. По выходу из термостата труба попадает в спрейер – устройство для скоростного охлаждения трубы от температур аустенитной области до температуры, приближенной к нормальной. Спрейерное устройство (рисунок 4.3) состоит из 3 колец щелевого типа и душирующего устройства (трубчатой секции спрейера).

Секции спрейера устанавливаются перпендикулярно оси трубы. Очаг охлаждения представляет собой сплошное равномерное кольцо шириной 40-60 мм. Максимально возможное охлаждение происходит в первом по направлению движения трубы кольце спрейера, второе и третье кольцо и трубчатая секция спрейера служат для выравнивания температуры по толщине стенки. После этого трубы либо движутся по рольгангу к следующему индуктору для нагрева под отпуск, либо задаются на охлаждающий стол, а отпуск проводится в следующий этап (зависит от технологии).

Все параметры термической обработки, как то: скорость движения труб по конвейеру индукционной установки, температуры нагрева в индукторе-

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

цеха №5, термообработка труб из стали марки 13ХФА проводится с предварительным проведением нормализации с нагревом до 920°С и охлаждением в воздушной среде.

В случае нарушения режима нагрева труб проводится их повторная термообработка или отбраковка. Повторная термообработка разрешается, если трубы были термообработаны при температуре ниже заданной. В случае превышения температуры отжига повторная термообработка труб не разрешается, и трубы считаются забракованными по причине перегрева. В случае превышения температуры отпуска проводимого после закалки, трубы подвергаются повторной закалке с последующим отпуском по заданному режиму.

От двух произвольно выбранных труб партии, прошедшей термообработку, отбираются пробы и направляются для проведения механических испытаний и контроля микроструктуры предусмотренных ТУ на данные трубы. В случае, если результаты испытаний удовлетворительные, трубы поступают на отделку и сдачу. Если результаты испытаний не соответствуют ТУ, трубы подвергаются повторной термообработке по скорректированным режимам.

От труб, имеющих удовлетворительные результаты механических испытаний и контроля микроструктуры, отбираются образцы на коррозионные испытания по ТУ. Все трубы подвергают испытанию гидравлическим давлением на прессе КП 669.

Затем на трубах нарезается фаска, проводится окончательный контроль геометрии и наличия дефектов наружной и внутренней поверхности. Трубы, прошедшие окончательный контроль направляются на приемку, маркируются и передаются на участок отгрузки.

4.2 Особенности закалки из межкритического интервала температур

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Эта разновидность закалки применяется при термической обработке доэвтектоидных сталей. Ее отличие от обычной заключается в том, что сталь подвергают нагреву до температур, превышающих точку A_{c1} но ниже точки A_{c3} . При таком нагреве формируется двухфазная структура, состоящая из феррита и аустенита. При последующем быстром охлаждении аустенит претерпевает превращение в мартенсит. Так как часть феррита при нагреве не испытывает полиморфного превращения, то этот вид обработки можно определить как неполную закалку. После закалки из МКИ прочность сталей меньше, чем после нормальной закалки. Тем не менее, ее использование позволяет получить благоприятный комплекс механических свойств.

При выдержке доэвтектоидной стали в МКИ происходит перераспределение углерода между ферритом и аустенитом. Концентрация углерода в аустените значительно превышает его среднее содержание в стали. Напротив содержание углерода в феррите снижается.

Обогащение аустенита углеродом в процессе выдержки в МКИ приводит к увеличению его устойчивости при охлаждении в температурном интервале диффузионного превращения, что облегчает осуществление закалки. Мартенсит, образовавшийся при закалке на месте обогащенного углеродом аустенита, характеризуется более высокой твердостью, чем при закалке при нагреве выше A_{c3} . В тоже время очистка феррита от атомов внедрения (углерод и азот) обеспечивает высокую пластичность этой составляющей.

При закалке из МКИ формируется двухфазная структура, состоящая из мелкозернистого феррита и дисперсных участков мартенсита, расположенных преимущественно по границам ферритных зерен. Количество структурных составляющих можно регулировать, изменяя температурно-временные условия нагрева. Чаще всего они выбираются такими, чтобы получить от 10 до 30% мартенсита. Так как твердые мартенситные участки имеют обычно глобулярную форму, то они не оказывают резко отрицательного влияния на пластичность. Поэтому после

а

б

Рисунок 4.4 – Изменение механических свойств для стали 13ХФА:

а) изменение предела прочности от времени отпуска; б) изменение относительного удлинения от времени отпуска (пояснения в тексте)

Из графика (рисунок 4.4а) видно, что значения предела прочности, достигаемые при отпуске исследуемой стали предварительно закаленной от температуры 930°С выше, чем значения предела прочности для стали подвергнутой двойной закалке 930–790 °С. Разница в значениях σ_B после 90 минут выдержки составляет 70 МПа. Повышение температуры нагрева в МКИ до 820°С приводит к снижению разницы в прочностных свойствах на 25 МПа (выдержка при отпуске 90 мин.), что связано с увеличением объемной доли упрочняющей фазы, получаемой в результате закалки.

Пластичность, в частности общее удлинение (рисунок 4.4б), меняется обратным образом. Т.е. повышение температуры нагрева под закалку, в рассматриваемых пределах, ведет к снижению относительного удлинения исследуемой стали. Так общее удлинение исследуемой стали после закалки от 930 °С и высокого отпуска, продолжительностью 90 мин., ниже на 13 % чем после двойной закалки 930– 790 и высокого отпуска.

Зависимость изменения ударной вязкости от времени отпуска приведена на рисунке 4.5. На графике наглядно показано, что сталь после закалки из МКИ имеет более высокие значения ударной вязкости.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

межкритического интервала температур приводит к снижению предела текучести на 12 % при выигрыше в вязкости в 7,5 %.

Обнаружено, что мартенсит вне зависимости от химического состава матрицы в стали 13ХФА обладает одинаково низкой коррозионной стойкостью. Отпуск мартенсита приводящий к формированию феррито-карбидной смеси с зернистой морфологией карбидов (сорбит отпуска)(Рисунок 4.6) приводит к повышению коррозионной стойкости в 8 раз. Причем повышение стойкости определяется главным образом морфологией и однородностью распределения выделяющихся карбидных фаз.

Установлено, что на поверхности материала с любой из исследуемых структур вокруг неметаллических включений наблюдаются области, скорость коррозионного растворения которых отличается от скорости растворения матрицы. Такие области при загрязненности неметаллическими включениями, соответствующей высококачественной стали, на первых этапах коррозии могут составлять при различном наборе структурных составляющих от 40 до 80 % всей корродирующей поверхности.

4.3 Лабораторные испытания по результатам термической обработки

После окончания термической обработки от каждой партии случайным образом отбираются 2 трубы, на которых проводят контрольные испытания и исследования для определения соответствия механических, коррозионных свойств и микроструктуры металла требуемым нормам ГОСТа и техническим условиям (ТУ) соответствующих заказчиков.

С обоих концов этих труб отрезают барабан высотой 260 мм, из которых вырезают 2 темплета размером 250×250 мм. Каждый темплет маркируется и отправляется в центральную заводскую лабораторию (ЦЗЛ) для проведения испытаний.

Например, для контроля механических свойств и оценки качества труб, а также исследования микроструктуры металла после проведенной

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.			Подпись	Дата		60

термической обработки по ТУ – 1317-233-00147016-02 (для обустройства месторождений ОАО НК «Роснефть», ОАО «ТНК») применяют следующие виды испытаний:

- испытание на растяжение (ГОСТ 10006);
- испытание на твердость (ГОСТ 9012);
- испытания на ударный изгиб (ГОСТ 9454);
- испытание на сплющивание (ГОСТ 8695);
- испытание гидравлическим давлением (ГОСТ 3845);
- исследование микроструктуры металла;

Испытание на растяжение проводят по ГОСТ 10006 на продольном пропорциональном коротком образце в виде цилиндрического образца типа Ш ГОСТ 1497.

Цилиндрические образцы изготавливают из труб с толщиной стенки 5 мм и более. Диаметр рабочей части цилиндрического образца устанавливают равным: 5,0, 8,0, 10,0 мм - при номинальной толщине стенки соответственно: свыше 7,0 до 10,0 мм включительно, свыше 10,0 до 14,0 мм включительно, свыше 14,0 мм. В качестве испытательных машин применяют разрывные и универсальные испытательные машины всех систем, соответствующие требованиям настоящего стандарта и ГОСТ 28840.

Таблица 4.3 – Требования к механическим свойствам металла труб из стали 13ХФА по ТУ – 1317-233-00147016-02

Наименование показателя	
Временное сопротивление σ_B , МПа не менее или в пределах	520
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, не менее или в пределах	370-520
Относительное удлинение δ_5 , %, не менее	23
Отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$, не более:	0,85
Твердость, Роквелл, не более	92 HRB

Наименование показателя	
Ударная вязкость KCV, Дж/см ² , при температуре испытания минус 60 °С, не менее	98
Ударная вязкость KCU, Дж/см ² , при температуре испытания минус 60 °С, не менее	59
Доля вязкой составляющей в изломе образцов KCV, %, не менее	50

Испытание на твердость проводят по ГОСТ 9012 на обоих концах трубы. Допускается определять твердость на образцах, предназначенных для испытания на растяжение. Допускается производить контроль твердости неразрушающими методами.

Для испытания труб на сплющивание применяют образцы в виде отрезка трубы длиной 20-50 мм. Образец помещают между двумя гладкими жесткими и параллельными плоскостями и плавно сплющивают его, сближая сжимающие плоскости до заданного расстояния между параллельными плоскостями в конце испытания. Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие после сближения сжимаемых поверхностей до величины *H* на внешней и внутренней поверхностях трещин или надрывов с металлическим блеском, определяемых визуально.

Способность труб выдерживать гидравлическое испытание проверяется по ГОСТ 3845 с выдержкой под давлением не менее 10 секунд. Наибольшая величина пробного давления должна рассчитываться по формулам, приведенным в ГОСТ. В качестве наполнителя, передающего давление на стенку трубы, должна применяться вода, эмульсия или другая жидкость. Перед испытанием воздух из трубы должен быть вытеснен наполняющей жидкостью.

Труба считается выдержавшей испытание, если при испытании не будет визуально обнаружено течи рабочей жидкости и после испытания остаточной деформации (выпучивания) стенки, выводящей диаметр трубы за предельные отклонения.

						22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			63

Испытания на ударный изгиб проводится с использованием маятниковых копров с термостатами на образцах Шарпи при температуре +20°C и -60°C.

Микроструктуру труб проверяют на протравленном поперечном образце.

При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы по одному из показателей, по нему проводя повторное испытание на удвоенном количестве образцов, отобранных от тех же труб, Результаты повторных испытаний распространяются на всю трубу.

При получении неудовлетворительных повторных испытаний по механическим свойствам, трубы всей партии подвергают повторным термообработкам и предъявляются к сдаче вновь (допускается поштучно).

4.4 Расчёт теплового баланса индуктора – нагревателя

Знание теплового баланса нагревательного оборудования позволяет сделать работу оборудования более эффективной, вскрыть резервы улучшения его эксплуатационных характеристик.

Суммарная мощность, подводимая к индуктору, тратится на нагрев металла (полезная мощность) и на тепловые потери. Последние представляют собой энергию, которая уносит охлаждающая индуктор вода, теплопотери через футировку рабочего пространства индуктора и энергию излучения в окружающее пространство с торцов индуктора.

Данные параметров работы индуктора представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Данные индукционной установки ОКБ-873

Величина	Индуктор-нагреватель
Макс. температура нагрева, °C	1100
Температура трубы на выходе, °C	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:	55

Приближенно полезную мощность индуктора N_M , идущую на нагрев металла трубы, можно определить по формуле

$$N_M = P_M \cdot c_M \cdot \Delta t_M, \quad (1)$$

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):

$$\Delta t_M = t_{M.кон} - t_{M.нач}, \quad (2)$$

$t_{M.кон}$ – температура трубы после нагрева в печи, °С; $t_{M.нач}$ – температура трубы до нагрева, °С. В формуле (1) не учитывается зависимость теплоемкости стали от температуры.

При заданных производительности печи $P_M = 5870$ кг/ч или 1,63 кг/с, средней удельной теплоемкости стали 460 Дж/кг·К и разности температур после и до нагрева

$$\Delta t_M = t_{M.кон} - t_{M.нач} = 800 - 20 = 780 \text{ °С},$$

по формуле (1) найдем полезную мощность индуктора (нагрев металла) $460 \cdot 1,63 \cdot 35 = 584,8$ кВт

Тепловые потери $N_{вод}$, связанные с охлаждающей водой индуктора, можно найти из выражения:

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

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

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

$\Delta t_{вод}$ – разность температуры воды на выходе и входе индуктора, °С.

$$\Delta t_{вод} = t_{вод.кон} - t_{вод.нач} \quad , \quad (4)$$

где $t_{вод.кон}$ – температура воды на выходе из индуктора, °С;

$t_{вод.нач}$ – температура воды на входе в индуктор, °С.

При расходе охлаждающей воды $G_{вод} = 13,5 \text{ м}^3/\text{час}$, или $G_{вод} = 3,75 \text{ кг/с}$, теплоемкости воды $c_{вод} = 4,187 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ [] и разности температуры воды на выходе и входе индуктора

$$\Delta t_{вод} = t_{вод.кон} - t_{вод.нач} = 55 - 20 = 35^\circ\text{С},$$

по формуле (3), найдём тепловые потери, связанные с охлаждающей водой

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

Потери излучением можно определить по формуле:

$$N_{ИЗ} = c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_{П.кон}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ОКР}}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad , \quad (5)$$

где $T_{П.кон}$ – температура излучаемой поверхности, К;

$T_{ОКР}$ – температура окружающей среды, К;

F – площадь излучаемой поверхности, м²;

c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/м²·К⁴;

$$c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4;$$

температура излучаемой поверхности $T_{П.кон} = 800 + 273 = 1073 \text{ К}$ и

$$T_{ОКР} = 20 + 273 = 293 \text{ К}.$$

Площадь излучаемой поверхности определим по формуле:

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

где $D_{ВО}$ – диаметр выходного отверстия печи, м.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Диаметр выходного отверстия печи $D_{BO} = 0,4$ м, тогда площадь излучаемой поверхности $F = 3.14 \cdot 0.4^2 / 4 = 0.241 \text{ м}^2$.

Потери тепла излучением по формуле (5):

$$N_{из} = 5,67 \cdot \left[\left(\frac{1073}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,251 \cdot 2 = 18,76 \text{ кВт}$$

Тепловые потери $N_{ТП}$

$$N_{ТП} = 549,5 + 18,8 = 568,3 \text{ кВт.}$$

Суммарная тепловая мощность индуктора N_{Σ}

$$N_{\Sigma} = 584,8 + 568,3 = 1153,1 \text{ кВт.}$$

КПД индуктора можно рассчитать по формуле

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

тогда

$$\eta = \frac{584,8}{1153,1} \cdot 100\% = 51\%$$

Таблица 4.5 – Тепловой баланс индуктора-нагревателя

Приход теплоты				Расход теплоты			
№	Наименование статьи	Количество		№	Наименование статьи	Количество	
		кВт	%			кВт	%
1	Подводимая мощность к индуктору	1153,1	100	1	Нагрев заготовок	584,8	51
				2	Тепловые потери с охлаждающей водой	549,5	48
				3	Тепловые потери излучением	18,8	1
	Итого	1153,1	100		Итого	1153,1	100

5. Охрана труда и промышленная безопасность на трубном производстве

Вопросы охраны труда и промышленной безопасности – две вершины одного айсберга. Оба направления тесно связаны между собой и направлены на создание условий, которые минимизируют случаи производственного травматизма. Создание безопасных условий труда, возлагается на администрацию предприятий, которая в силу своих обязанностей должна внедрять самые современные средства техники безопасности. Охрана труда представляет собой систему, в которую включены мероприятия организационно-технического, лечебно-профилактического и гигиенического характера.

Внедрение достижений научно-технического прогресса в трубное производство обязательно сопровождается улучшением условий труда. Широкое применение комплексной механизации и автоматизации технологических процессов и трубного оборудования приводит к резкому сокращению и ликвидации тяжелого физического труда рабочих во вредных условиях. Много внимания в трубной промышленности уделяется повышению уровня безопасности технологического оборудования, а также повышению культуры производства.

Однако все это не позволяет полностью исключить опасные и вредные факторы в технологии производства труб.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Опасные и вредные факторы в трубном производстве условно можно разделить на следующие группы: физические, химические, психофизиологические и биологические. Наиболее многочисленной является группа физических факторов, к которой относятся движущиеся машины, механизмы, нагретые заготовки и трубы в процессе их обработки, горячие технологические среды, ультрафиолетовое, инфракрасное и световое излучение, запыленность воздуха рабочей зоны, шум на рабочих местах, ультразвук, влажность воздуха, напряжение электрической сети, яркость света и другие факторы, зависящие от физических параметров.

К числу химических факторов относятся большое количество опасных и вредных для организма веществ, которые применяются при работе трубного оборудования: кислоты и щелочи, применяемые при химической и электрохимической обработке; вредные газы, которые выделяются в процессе химической обработки и т.д.

К группе психофизиологических факторов относятся физические и нервно-психические перегрузки.

К группе биологических факторов относятся микроорганизмы, находящиеся в емкостях с различными жидкостями (вода, масло и т.п.).

В связи с наличием большого количества опасных и вредных факторов в трубном производстве большое значение приобретает профилактическая работа по оснащению технологического оборудования техническими средствами безопасности, организация работы в соответствии с правилами безопасности, соблюдение техники безопасности обслуживающим персоналом.

Понятие "условия труда" включает совокупность производственных, гигиенических, психологических и эстетических факторов, действующих на рабочий персонал во время работы. Безопасные условия труда обеспечиваются организацией работы в соответствии с требованиями безопасности, которые регламентируются соответствующими стандартами и инструкциями. Они включают наличие профилактических мер, которые

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

комбинированно предупреждающая о наступающей опасности, дистанционное управление процессами и различными агрегатами.

Опознавательная окраска, предупредительные знаки и плакаты должны напоминать работающим о правилах техники безопасности.

Для предотвращения поступления в рабочую зону газов, пыли, паров по обработке, сварке различных материалов применяют отсасывающие агрегаты и герметизацию оборудования. В целях предотвращения несчастных случаев используются и индивидуальные защитные средства (очки, рукавицы, защитная одежда и обувь).

Мероприятия по обеспечению требований охраны труда непосредственно в процессе того или иного производства труб весьма разнообразны и касаются как требований к состоянию отдельных производственных участков, маши инструмента, приспособлений, так и приемов по обслуживанию оборудования. Однако заготовки, пакеты труб, хранящиеся на складской территории завода, необходимо укладывать таким образом, чтобы бы обеспечена возможность безопасной работы подкрановых рабочих при погрузке материалов.

Для некоторых линий трубопрокатных цехов характерно превышение допустимой нормы уровня шума. Для уменьшения этого уровня рекомендуется устанавливать звукоизолирующие кожуха с выводом наружу пультов управления, которые следует делать закрытыми с кондиционированием воздуха; в линии рольганга применять ролики с резиновыми (полиуретановыми) кольцами.

Перед производством перевалочных и ремонтных работ в целях безопасности все приспособления и инструмент, применяемые при перевалках (цепи, канаты), необходимо предварительно проверять. Включение двигателей ремонтируемых станков, агрегатов и механизмов для опробования или иных целей могут производить только лица, имеющие на это право, с разрешения ответственного лица.

					22.03.02.2020.626.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

На каждом заводе для всех трубных станов разработаны специальные инструкции о способах безопасного производства труб, которые должны быть вывешены вблизи рабочих мест.

Поступающие на работу проходят краткие вводные курсы и получают общие представления о правилах работы на производстве. Более полный и обстоятельный инструктаж руководители проводят на местах. Прохождение инструктажа оформляют в соответствующих документах.

Библиографический список

1. Ваткин, Я.Л. Бесшовные трубы: справочное руководство для рабочих/ Я.Л. Ваткин, О.А. Пляцковский, Ю.И. Ващенко.— М.: Металлургиздат, 1963. — 182 с.
2. Данченко, В.Н. Технология трубного производства./ В.Н. Данченко.— М.: Интерметинжиниринг, 2002. – 640 с.
3. Друян, В.М. Теория и технология трубного производства./ В.М. Друян , Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2001. — 544 с.
4. Коликов, А.П.Машины и агрегаты трубного производства./ А.П. Коликов, В.П., С.В. Самусев. – М.: МИСиС, 1998. - 536 с.
5. Маковецкий, А.Н. Влияние термической обработки в межкритическом интервале температур на свойства низколегированных трубных сталей: дисс. на соискание уч. степени к.т.н. / А.Н. Маковецкий. – Челябинск. ЮУрГУ, 2016. – 353 с.
6. Маковецкий, А.Н. Влияние термической обработки на хладостойкость стали для нефтяных трубопроводов / А.Н. Маковецкий, Д.А. Мирзаев// ФММ. – 2010.–Т. 110, N 4.–С. 417–423.
7. Маковецкий А.Н. Особенности проявления отпускной хрупкости у стали 13ХФА с низким содержанием фосфора, закаленной из межкритического интервала температур / А.Н. Маковецкий, Д.А. Мирзаев. – Вест. ЮУрГУ, Серия «Металлургия». - 2013. -Вып. 13, № 2 . - С. 103-110.
8. Осадчий, В.Я. Технология и оборудование трубного производства: Учебное пособие для вузов./ В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец и др. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 560 с.
9. Потапов, И.Н. Оборудование трубопрокатных цехов: Учебное пособие/ И.Н. Потапов. — М.: МиСИС, 1989. — 118 с.

					22.03.02.2020.626.00.00	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

10. Романцев, Б.А. Трубное производство: Учебник, 2-е изд., испр. и доп./ Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин и др. - М.: Изд. дом МИСиС, 2011. - 970 с.
11. Сергеева, К. И. Особенности распада переохлажденного аустенита стали 13ХФА после нагрева в межкритический интервал температур / К. И. Сергеева, О. Ю. Корниенко, С. А. Мусихин // XI Международная научно-техническая уральская школа-семинар молодых ученых-металловедов. — Екатеринбург, 2010. — С. 83-85.
12. Смирнов, М.А. Основы термической обработки стали :Учебное пособие/ М.А. Смирнов, В.М. Счастливец,Л.Г. Журавлев. - Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 494 с.
13. Технологическая инструкция ТИ 158-Тр. ТБ 1-63-2015. Изготовление бесшовных горячедеформированных нефтегазопроводных труб повышенной эксплуатационной надежности диаметром 273-426 мм по ТУ 1317-233-00147016-02 . – Челябинск: ЧТПЗ, 2016. – 58 с.
14. Технологическая инструкция ТИ 158-Тр. ТБ 1-23-201 Подготовка, нагрев, прошивка заготовок, пилигримовая прокатка и калибровка труб в цехе№.1. – Челябинск: ЧТПЗ, 2016. – 96 с.
15. Технологическая инструкция ТИ 158-Тр. ТБ 5-50-21016. Отделка хладостойких коррозионностойких труб в цехе № 5. – Челябинск: ЧТПЗ, 2016. – 3 с.
16. Технологическая инструкция ТИ 159-СТ. 11-2015 Изготовление непрерывнолитой заготовки в ЭСПК. – Первоуральск: ПНТЗ, 2012. –87 с.
17. ТУ 1317-223-0147016-02 Трубы стальные бесшовные нефтегазопроводные повышенной эксплуатационной надежности для обустройства месторождений ОАО НК «Роснефть».