

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 20Х13
ДИАМЕТРОМ 32 ММ С ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ 2,0 ММ С
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 20 ТЫСЯЧ ТОНН В ГОД**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 309-03-008 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер

_____ д.т.н., профессор

Выдрин Александр Владимирович

_____ 2020 г.

Руководитель работы

_____ д.т.н., профессор

Выдрин Александр Владимирович

_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-438

Захаров Сергей Евгеньевич

_____ 2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Захаров С. Е. Разработка технологии производства труб из стали 20Х13 диаметром 32 мм с толщиной стенки 2,0 мм с производительностью 20 тысяч тонн в год. – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, МиМТ; 2020. – 62 страницы. 7 ил., библиогр. список – 41 наим.

Выполнен анализ информации по стали марки 20Х13, оборудованию и способам получения трубных изделий

Разработка технологии производства труб из стали 20Х13 диаметром 32 мм с толщиной стенки 2,0 мм с производительностью 20 тысяч тонн в год.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	7
1.1 Сталь марки 20Х13.....	7
1.1.1 общие характеристики стали марки 20Х13.....	7
1.1.2 Механические свойства стали марки 20Х13.....	9
1.1.3 Свойства стали марки 20Х13 при холодной деформации.....	12
1.2. Трубы и трубное производство.....	14
1.2.1 Классификация трубы.....	14
1.2.1 Горячедеформированные трубы.....	14
1.2.2 Прессованные трубы.....	16
1.2.3 Холоднодеформированные бесшовные трубы.....	18
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ.....	20
2.1 Выбор проектной документации на трубы.....	20
2.1.1 Документация на горячеформированные бесшовные трубы.....	20
2.1.2. Документация на холоднодеформированные трубы.....	21
2.1.3. Выбор нормативной документации на трубы.....	22
2.1.6. Требования, предъявляемые выбранным ГОСТ.....	22
2.2 Расчет необходимого количества труб.....	24
2.3 Выбор технологического процесса и оборудования.....	26
2.3.2 Выбор оборудования холодной деформации труб.....	26
2.3.2. Выбор размеров заготовки для холодной прокатки.....	29
2.3.3 Выбор трубопрессового оборудования и его характеристики.....	31
2.3.4 Выбор заготовки.....	33
2.3.5 Разработка процесса прессования труб.....	34

2.4. Расчет расходного коэффициента металла	36
2.5. Расчет производительности прессовой установки.	37
2.6 Полная схема технологического процесса:	38
ГЛАВА 3. РАСЧЕТ УСИЛИЯ ПРЕССОВАНИЯ.	40
3.1 Выбор температуры прессования и расчет сопротивления деформации.	40
3.2 Расчет установившегося усилия прессования по методу Перлина	41
3.3 Расчет пикового значения усилия прессования по формуле Сежурне. .	45
Полученные значения установившегося и пикового усилий прессования меньше 20 МН, следовательно, предложенный режим прессования осуществим.	45
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ.....	46
4.1 Расчет полного усилия на валок.....	46
4.2 Расчет осевого усилия	49
4.3 Расчёт момента прокатки.	50
ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ ПРОЦЕССА.	52
5.1 Рекомендации для процесса холодной прокатки труб на стане ХПТ2-70.	52
5.2 Рекомендации для процесса прессования труб в условиях ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ»	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	57

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире трубы играют огромную роль. Сегодня именно благодаря трубам мы получаем доступ ко всем благам цивилизации: вода, газ, электричество. Без них наша жизнь была бы гораздо сложнее. Трубы окружают везде и всюду, и порой мы их даже не замечаем. Ведь трубы это не только водопроводы, по которым в наши дома поступает вода, но и огромные нефте-газопроводы, энергетические системы: шестигранные трубы в ТВЭЛх атомных реакторов, паро-водопроводы от реакторов к турбинам, трубы также используются в авиации: например, лопасти вертолетов – это не более, чем труба переменного сечения, как и турбины двигателей самолетов, и еще многое-многое прочее, без чего наша сегодняшняя жизнь будет просто невысказима.

Сегодня одна из главных задач трубостроения — это создание новых, более качественных, более экономичных и дешёвых в производстве труб. Например, для трубопроводов необходимо увеличивать их пропускную способность. Есть два способа это сделать.

Первый: увеличить трубу в размере, чтобы за единицу времени проходило большее количество требуемого материала. Но, к сожалению, увеличивать размер трубы до бесконечности мы не можем сразу по нескольким причинам: такие трубы сложнее производить (для производства «супертруб» необходимо перестроить целые цеха), сложнее транспортировать (ведь трубы нужно не только произвести, но и доставить на место назначения в целостности и сохранности), удорожание трубы за счет большего количества используемого металла.

Другой способ увеличения пропускной способности труб – это увеличение давления внутри трубы. При том же самом сечении трубы за счет более быстрой скорости движения жидкости (газа) внутри мы получаем большую пропускную способность. Данный способ тоже имеет несколько недостатков: нужны более прочные марки стали и сплавы, производство труб из данных сталей и сплавов сложнее и дороже, так как они хуже поддаются

холодной деформации, у них хуже способность к свариваемости (если речь идет о сварных трубах).

Сталь марки 20Х13 обладает достаточной прочностью, чтобы выдержать высокое давление, т. к. относится к классу мартенситных сталей, и обладает высокой коррозионной стойкостью и жаропрочностью, хорошо противостоит углекислотной коррозии, т. к. содержит в себе хром в количестве 13%, что дает возможность производить из нее трубы для работы в слабоагрессивных средах.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Сталь марки 20X13

1.1.1 общие характеристики стали марки 20X13

Сталь марки 20X13 относится к классу мартенситных сталей [1-9], является жаропрочной и коррозионно-стойкой [6], что позволяет использовать ее в деталях, подвергающимся ударным нагрузкам и работающих при температуре до 500 °С, а также в изделиях, подвергающихся действию слабоагрессивных сред при комнатной температуре, энергетическом машиностроении (клапаны гидравлических прессов, лопатки паровых турбин, уплотнительные втулки, тарелки и седла клапанов, поршневые кольца и т. д), в крекинг-установках с длительным сроком службы, для деталей печей. Заменители данной марки стали: стали марок 12X13 (в некоторых случаях 8X13) и 14X17H2 [4]. В таблице 1 приведен химический состав стали марки 20X13, а в таблице 2 ее зарубежные аналоги.

Таблица 1. Химический состав стали марки 20X13[2-4]

химический элемент	C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
массовая доля элемента, %	0,16-0,25	не более 0,8	не более 0,8	12-14	не более 0,025	не более 0,03	остаток

Свойства стали марки 20X13 [1-9]:

Плотность: 7670 кг/м³;

Твердость материала: HB 10⁻¹ = 126 - 197 МПа;

Температура критических точек: Ac₁ = 820 , Ac₃(Ac_m) = 950 , M_n = 320;

Свариваемость материала: ограниченно свариваемая;

Флокеночувствительность: не чувствительна;

Склонность к отпускной хрупкости: склонна;

Таблица 2. Зарубежные аналоги стали марки 20X13 [2]

Страна	Марки сталей
США	420, S42000
Германия	1.4021, X20Cr13, X30Cr13
Япония	SUS420J1
Франция	X20Cr13, Z20C13
Англия	420S29, 420S37, En56C
Евросоюз	1.4021, X20Cr13
Италия	X20Cr13
Испания	F.3402, X20Cr13
Китай	2Cr13
Швеция	2303
Польша	2H13
Чехия	17022

Вид поставки: сортовой прокат, в том числе фасонный (ГОСТ 5949-75, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006, ГОСТ 2879-2006, ГОСТ 18968-73, ГОСТ 19442-74), калиброванный пруток (ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 7417-75), шлифованный пруток и серебрянка (ГОСТ 14955-77, ГОСТ 18907-73), лист толстый (ГОСТ 7350-77), лист тонкий (ГОСТ 5582-75), лента (ГОСТ 4986-79), полоса (ГОСТ 4405-75, ГОСТ 103-2006, ГОСТ 18968-73), проволока (ГОСТ 18143-72), поковки и кованые заготовки (ГОСТ 1133-71, ГОСТ 18968-73, ГОСТ 25054-81), трубы (ГОСТ 14162-79), крепежные детали (ТУ 26-0610-003-82), заготовки лопастей турбин (ОСТ 108.020.03-82, ОСТ 108.020.123-78), трубная заготовка (ТУ 14-1-565-84, ТУ 14-1-4992-2003) [1-9].

Коррозионная стойкость: может подвергаться воздействию слабоагрессивных сред: атмосферные условия (кроме морских), речная и водопроводная вода, водные растворы органических кислот при комнатной температуре, растворы азотной кислоты слабой и средней концентрации при умеренных температурах и т. д., сталь устойчива против окисления до 700 °С. Наивысшая коррозионная стойкость наблюдается после термической обработки и полирования [1].

Оптимальные режимы термической обработки стали: закалка с 980-1020 °С, охлаждение в масле или на воздухе и отпуск при 150-400 °С (в зависимости от требуемой твердости). В том случае, когда требуется снять напряжения, например, послековки или другой пластической операции то производится отжиг при 750-760 °С с охлаждением на воздухе [1]. Смягчающей термической обработкой стали марки 20Х13 является отжиг при 750-800 °С, охлаждение с печью до 500 °С; окончательная термообработка – закалка с 950-1000 °С с охлаждением в масле или на воздухе и отпуск на заданную твердость и коррозионную стойкость [5].

Технологические параметры: сталь марки 20Х13 имеет хорошую технологичность при горячей пластической деформации. Рекомендуются следующие интервалы деформации: начало 1100 °С, конец 875-950 °С, нагрев под прокатку и ковку проводят медленно до 780 °С, после деформации также следует применять медленное охлаждение [2, 3, 5].

Сталь остается технологичной при горячей и холодной деформации. В закаленном состоянии микроструктура состоит из мартенсита и карбидов; в отожженном состоянии – из смеси высокохромистого феррита и карбида. С повышением температуры отпуск выше 450 °С происходит значительное снижение прочности, сопровождаемое увеличением пластичности, при этом также снижается коррозионная стойкость [5].

1.1.2 Механические свойства стали марки 20Х13.

Сталь марки 20Х13 обладают достаточно высокими механическими свойствами при температуре до 500 °С, которые представлены в таблице 3.

После закалки с 1050-1100 °С в масле и отпуска на твердость НВ 207 порог хладноломкости находится при температуре (-40)- (-60) °С, при этом значения ударной вязкости соответствуют 1,2-3,5 кгс/см². Понижение температуры закалки до 950-1000 °С и отпуск при 630°С обеспечивают лучшую стойкость против хладноломкости при температурах до -60°С [5].

Механические свойства при повышенных и отрицательных температурах представлены в таблице 4.

Таблица 3. Механические свойства стали 20X13 [1].

Температура °С	Временное сопротивление σ_B	Предел текучести $\sigma_{0,2}$	Относительное удлинение δ	Относительное сужение ψ
	Н/мм ²		%	
20	706	510	21	65
300	544	392	18	66
400	520	397	16,5	58,5
450	485	372,5	17,5	57
475	485	412	22,5	71
500	432	353	32,5	75
550	343	280	36,5	83,5

Таблица 4. Механические свойства стали марки 20X13 при отрицательных и повышенных температурах [5, 7, 8]

Температура °С	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ %	Ψ %	KSU Дж/см ²
+20	540	700	21	62	76
-20	560	730	22	59	54
-40	580	770	23	57	49
-60	570	810	24	57	41
800	59	70	51	98	-
850	-	-	43	-	-
900	-	-	66	-	-
1000	39	61	59	-	-
1150	21	31	84	100	-

Превращение аустенита стали марки 20X13 было изучено различными исследователями в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

Для стали марки 20X13 изгиб кривой на C-диаграмме соответствует 700-725°C, при этой температуре распад аустенита происходит с наибольшей скоростью. Распад аустенита начинается примерно через одну минуту и заканчивается полностью примерно через 12 минут. При температуре выше или ниже указанной распад замедляется. В интервале температур между 500°C и мартенситной точкой даже при очень больших выдержках распад не наблюдается. Это свидетельствует о том, что в этом температурном интервале не наблюдается промежуточного превращения.

Информация о свариваемости стали марки 20X13 в различных источниках расходится. Так, согласно марочникам [2-4] данная марка стали является ограниченно свариваемой. Способы сварки: ручная дуговая сварка, ручная аргонодуговая сварка и контактная сварка. Подогрев и последующая термообработка применяются в зависимости от метода сварки, вида и назначения конструкции.

В тоже время согласно справочнику [5] сталь марки 20X13 удовлетворительно сваривается электродуговой и аргонодуговой автоматической сваркой. Для автоматической сварки следует применять проволоку Св-10X13 и Св-06X14. В случае электродуговой сварки применяют флюсы АН-18 или АН-17. Для ручной электродуговой сварки целесообразно использовать электроды типа ЭФ-Х13 также с проволокой Св-0X13, либо Св-06X14. Во избежание появления холодных трещин в сварных соединениях при сварке изделий 8-10 мм и более, а также изделий с меньшей толщиной, имеющих жесткое закрепление, необходимо применять предварительный или сопутствующий подогрев до 250-400°C. После сварки следует проводить отпуск сварных соединений или изделий. Чаще всего применяют отпуск при 680-760°C.

1.1.3 Свойства стали марки 20Х13 при холодной деформации.

В трудах [10,11] приведены зависимости предела текучести, предела прочности и относительного удлинения от степени деформации для стали марки 12Х13. Согласно [1, 2 5] стали марок 12Х13 и 20Х13 являются взаимозаменяемыми и обладают схожими характеристиками, то возможно использовать эти зависимости и для стали марки 20Х13

Зависимости предела текучести, предела прочности и относительного удлинения от степени деформации [10,11]:

$$\sigma_{0,2} = 32,5 + 7,2 \cdot \varepsilon^{0,45}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\varepsilon} = 50 + 1,7 \cdot \varepsilon^{0,71}, \quad (2)$$

$$\lg \delta = 1,431 - 2,36 \cdot \varepsilon + 2,26 \cdot \varepsilon^2 \quad (3)$$

где $\sigma_{0,2}$ — предел текучести, кг/мм²;

ε — степень деформации, %;

σ_{ε} — предел прочности, кг/мм²;

δ — относительное удлинение, %.

Для того, чтобы перевести значения предела текучести по формулам (1-2) из кг/мм² в МПа и использовать их в расчетах их необходимо умножить на 9,807.

На рисунках 1 и 2 представлены графические зависимости предела текучести, предела прочности и относительного удлинения от степени деформации.

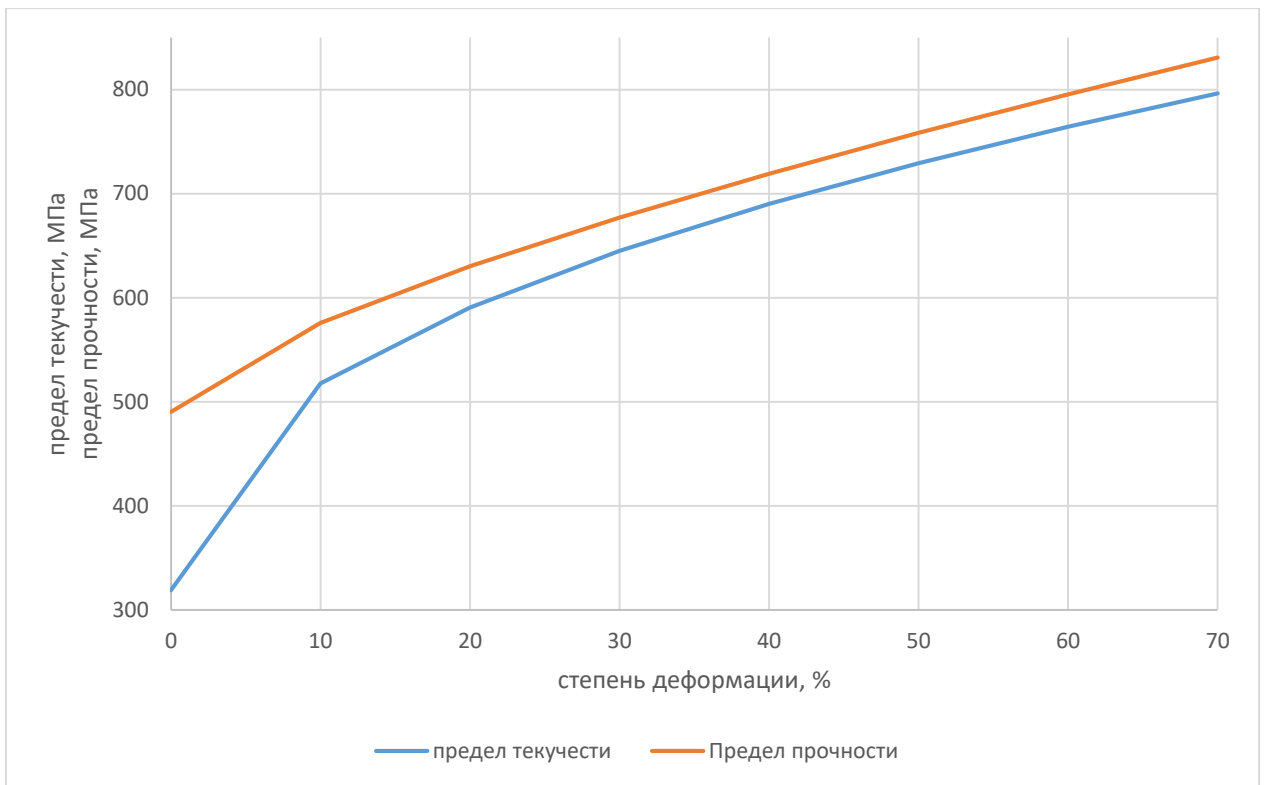


Рисунок 1. Графические зависимости предела текучести и предела прочности от степени деформации.

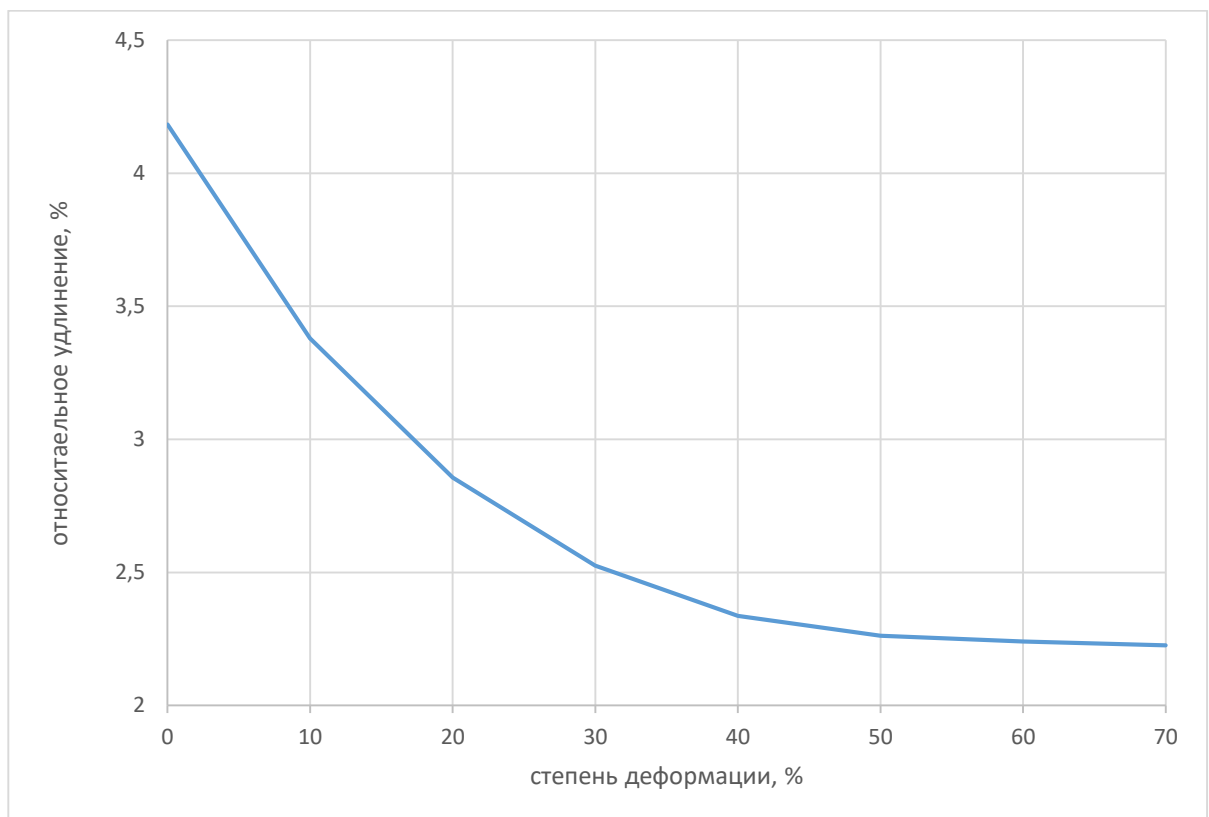


Рисунок 2. Графическая зависимость относительного удлинения от степени деформации.

1.2. Трубы и трубное производство

1.2.1 Классификация трубы

Согласно заданию, необходимо произвести трубу диаметром 32 мм с толщиной стенки 2,0 мм из стали марки 20Х13. В соответствии с этим можно произвести следующую классификацию готовой трубы:

Классификация трубы по профилю сечения [12,13]: круглая

Классификация трубы по наружному диаметру (по крупности) [12,13]: - малых размеров 5 - 102 мм;

Классификация труб по относительной тонкостенности D/S (D - наружный диаметр; S толщина стенки) [10,11]: - нормальной тонкостенности - $D/S=16$;

Сочетание параметров D/S и D определяет трудоемкость изготовления труб. Менее трудоемко изготовить трубы средних размеров нормальной тонкостенности. Любые отклонения от этих значений повышают трудоемкость и удорожают продукцию [13].

Классификация трубы по назначению, по точности геометрических размеров, по типу исходной заготовки, по способу деформации, по качеству поверхности, по состоянию материала происходит в соответствии с выбранной документацией на трубу (ГОСТ или ТУ) и по договоренностью с заказчиком.

Стандарты и технические условия на трубы определяют размеры и техническую характеристику труб, химический состав металла, формы профиля, номинальные и допускаемые пределы отклонений по геометрическим размерам, механико-структурные свойства, внешний вид, правила испытаний, приемки, маркировки, упаковки и транспортировки [12].

1.2.1 Горячедеформированные трубы.

Независимо от способа производства горячедеформированных труб технологическая схема включает следующие общие элементы: нагрев

металла, получение полой заготовки (гильзы), получение черновой трубы (раскатка гильзы), окончательное формирование стенки и диаметра трубы (редуцирование или калибровка). При этом перед каждой технологической операцией при необходимости может осуществляться подогрев трубы.

В практике трубного производства применяют следующие способы получения полых заготовок гильз: прошивкой сплошных круглых заготовок на двухвалковых станах винтовой прокатки с различным типом валков и направляющего инструмента (рис.1); прошивкой сплошных круглых заготовок на трехвалковых станах; прошивкой сплошных заготовок на прессах, прошивкой сплошных квадратных заготовок на пресс-валковых станах

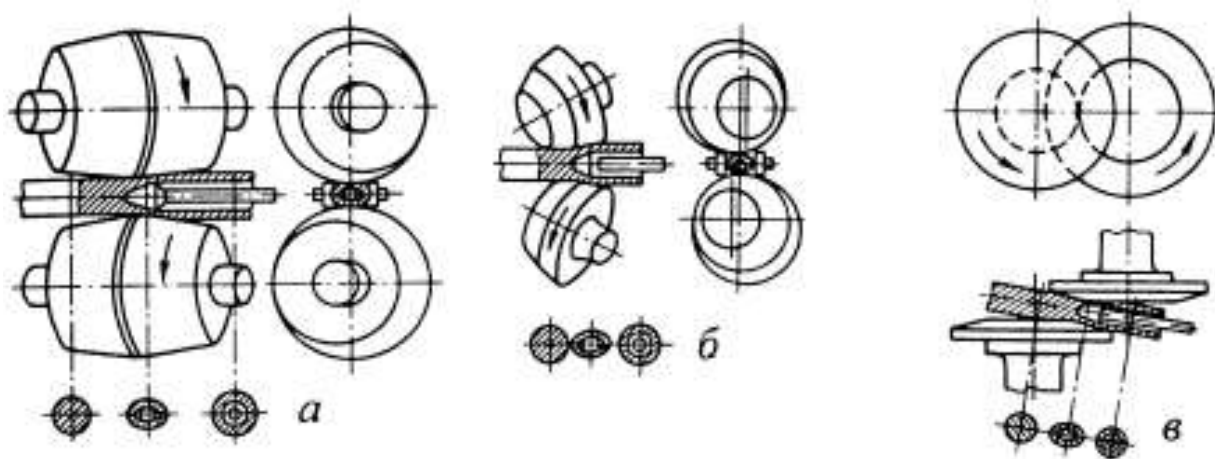


Рисунок 4. Схемы прошивки заготовок в двухвалковых станах винтовой прокатки [12]:

а - в бочковидных валках; б - в грибовидных валках; в – в дисковых валках

Получение труб осуществляют на станах продольной, винтовой, планетарной и поперечной раскатки, реечных станах и прессах. Способы раскатки гильз в черновые трубы характеризуются большим разнообразием, сложными технологическими схемами и конструкциями оборудования. Они постоянно совершенствуются с целью повышения качества труб, снижения материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости их производства [12].

1.2.2 Прессованные трубы

Прессованием называют процесс выдавливания помещенной в контейнер 1 (рис. 2) заготовки 2 через отверстие в матрице 3 усилием пуансона 4, снабженного пресс-шайбой 5. В случае прессования полых заготовок, в том числе труб, оснастка дополняется иглой 6, закрепленной либо на пуансоне, либо в иглодержателе, имеющем независимый привод.

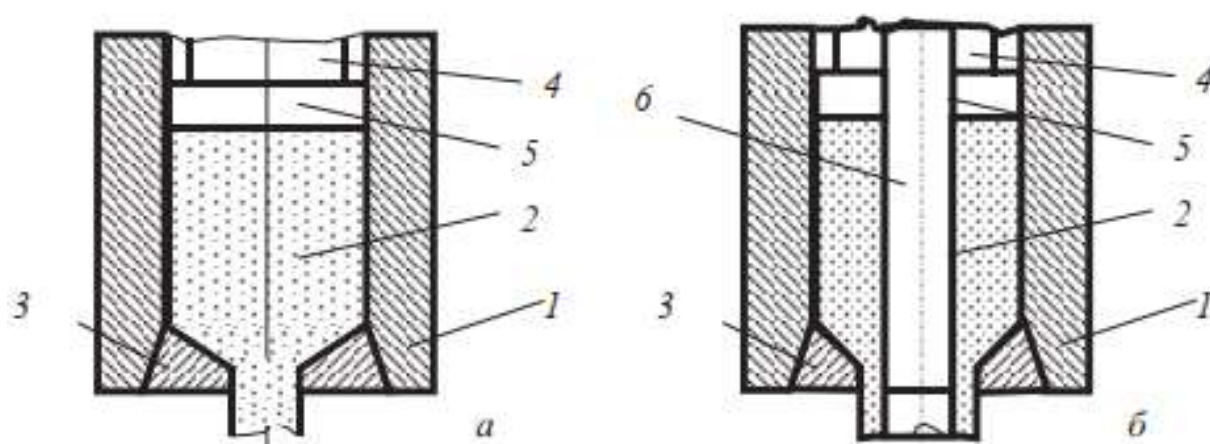


Рисунок 5. Схема процесса прессования [14]:
а – прутка; б – трубы; 1 – контейнер; 2- заготовка (слиток); 3 – матрица;
4- пуансон; 5 – пресс-шайба; 6 – игла.

Различают прямое и обратное прессование. При прямом прессовании пуансон перемещает слиток внутри контейнера требуется дополнительная энергия на преодоление трения. При обратном прессовании слиток неподвижен относительно стенок контейнера, а выдавливание происходит надвиганием на заготовку матрицы, здесь отсутствуют затраты на преодоление напряжений трения на стенке контейнера, что позволяет снизить общие энергозатраты на 30–40%. Достоинством прямого метода является высокая прочность матричного узла и пуансона (он выполнен сплошным). При обратном методе габариты матрицы должны вписываться в габариты полости контейнера, что уменьшает ее прочность, пуансон должен быть выполнен полым, что также снижает его прочность [15].

Можно отметить следующие достоинства процесса:

- возможность производства изделий сложного поперечного сечения;
- возможность достижения чрезвычайно высоких вытяжек за один цикл деформации;
- возможность быстрого перехода к изготовлению изделий другого профиля (гибкость технологии);
- возможность производства изделий из малопластичных материалов благодаря мягкой схеме напряженного состояния (высокий уровень сжимающих напряжений);
- достаточно высокие точность и качество поверхности изделий;
- относительно невысокие капитальные затраты.

В качестве недостатков процесса можно отметить:

- высокий уровень напряжений, действующих на инструмент (их величина составляет 500...1000 % от значения σ_s прессуемого металла), что неблагоприятно сказывается на стойкости оснастки;
- необходимость применения жаропрочных и соответственно дорогих материалов для изготовления инструмента, что повышает себестоимость продукции;
- невысокая производительность метода.

Применительно к обработке специальных сплавов прессование часто выступает в роли первичной обработки металла, имеющей целью разрушить грубую литую структуру литых заготовок либо снизить поврежденность порами порошковых заготовок и в целом повысить пластичность металла перед последующими процессами ОМД с более жесткими схемами напряженного состояния: прокаткой, волочением и др..

Следует отметить, что от технологий и агрегатов в черной металлургии требуется обеспечение как можно более высокой производительности, что часто идет в ущерб гибкости процессов [14].

1.2.3 Холоднодеформированные бесшовные трубы.

Особенности изготовления на отечественных заводах холоднодеформированных труб, в отличие от автоматизированных технологий производства горячекатаных труб на трубoproкатных агрегатах и электросварных труб на трубоэлектросварочных агрегатах, заключаются в следующем:

- в связи с малыми коэффициентами вытяжки за один проход для получения труб малых размеров используется многопроходная и циклическая схема производства;
- для обработки труб между проходами (термическая и химическая обработка) применяется пакетный способ обработки;
- многоциклическая обработка труб приводит к повышенному расходу металла и удорожает трубы;
- пакетный способ обработки связан с большим объемом транспортных операций, что повышает численность работающих и себестоимость труб.

Технологию изготовления холоднодеформированных труб можно представить в виде последовательности операций, которые условно разделяют на основные (прокатку и волочение) и вспомогательные (несвязанные с формоизменением труб). В технологическом цикле присутствуют также транспортные операции по формированию и доставке пакетов труб на мостовых кранах (вдоль пролета цеха) и на железнодорожных тележках между пролетами. Также применяются операции по контролю качества труб.

Цикл обработки труб включает основную операцию (проход прокатки или волочения) и сопутствующие вспомогательные операции, которые могут частично или полностью повторяться в последующем цикле.

Каждая операция выполняется на отдельно стоящем оборудовании, которое в цехе сгруппировано в отделы (участки): холодной прокатки, волочения, термообработки, травления, отделки и др.

Такая технология изготовления труб малопродуктивна и архаична, но пока неизбежна, так как не решены вопросы поштучного проведения

вспомогательных операций, главным образом термической и химической обработки.

Для повышения эффективности производства холоднодеформированных труб и снижения цикличности развиваются следующие направления:

- повышение разовых деформаций за проход, например, за счет совершенствования конструкций прокатных станов (применение четырехвалковых клетей "тандем");
- использование исходной заготовки минимальных размеров, например, электросварной;
- сокращение числа вспомогательных операций, например, применения безотжиговой прокатки, обработки без подмазочных покрытий, исключения обезжиривания за счет использования самовозгоняющихся смазок;
- совмещение основных и вспомогательных операций (волочения и правки, разрезки "на ходу", термоправки и др.) [12-13].

Каждый из описанных способов производства труб обладает своими достоинствами и недостатками. Для окончательного выбора способа производства трубы необходимо выбрать нормативную документацию на трубу (ГОСТ или ТУ) и в соответствии с ее требованиями выбрать наиболее подходящий способ производства.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ

2.1 Выбор проектной документации на трубы.

Рассмотрим несколько способов производства трубы из стали марки 20Х13. Одним из таких является сварной способ производства. Согласно сказанному в главе 1, информация о свариваемости стали марки 20Х13 различается. Однако, несмотря на различия по поводу свариваемости стали марки 20Х13, в различных источниках после сварки рекомендуется проводить отпуск при 680-700 °С [1-9]. Но при отпуске при данной температуре сталь марки 20Х13 теряет свои прочностные свойства и коррозионную стойкость. Это делает бессмысленным применение коррозионностойкой стали, следовательно, данный способ производства не подходит.

Из этого следует, что необходимо выбирать между холоднодеформированными и горячедеформированными бесшовными трубами.

2.1.1 Документация на горячеформированные бесшовные трубы.

Рассмотрим вначале горячедеформированные трубы. Способы горячего деформирования являются наиболее производительными. На горячедеформированные трубы есть несколько различных ГОСТов. Рассмотрим несколько из них. Самые распространенные – ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные» и ГОСТ 9940-81 «Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали». Они предусматривают возможность поставки труб диаметром 25 - 820 мм, толщиной стенки 2,5 - 75 мм и длиной от 4 до 12,5 м. Данные ГОСТы не подходят, так как стенка 2,5 больше требуемой, и в данных документах сталь марки 20Х13 не указана в качестве материала труб [16-18].

Единственный ГОСТ на горячедеформированные трубы, в котором разрешается использовать сталь марки 20Х13 в качестве материала для производства трубы это ГОСТ 56594-2015 «Трубы бесшовные

горячедеформированные из коррозионно-стойкой высоколегированной стали». Он предусматривает производство труб наружным диаметром от 57 до 325 мм и толщиной стенки от 3,5 мм до 32,0 мм обычной точности изготовления в соответствии с размерным рядом по ГОСТ 9940-81. Но по согласованию с заказчиком в данном ГОСТ предусмотрено производство труб размерами, которые не предусмотрены в данном ГОСТ [16]. Следовательно, по данному ГОСТ можно производить трубы наружным диаметром 32,0 мм и стенкой 2,0 мм.

2.1.2. Документация на холоднодеформированные трубы.

Рассмотрим холоднодеформированные трубы. Трубы, произведенные способами холодной деформации, получаются более точными, но данные способы производства менее производительны в сравнении со способами производства горячедеформированных труб.

Один из самых распространенных ГОСТ на холоднодеформированные трубы это ГОСТ 8734-87 «Трубы стальные бесшовные и холоднодеформированные». Он предусматривает производство труб наружным диаметром 1,0-200 мм и толщиной стенки 0,1-12 мм из углеродистых и легированных сталей [19]. Сталь марки 20Х13 относится к высоколегированным коррозионностойким сталям, поэтому данный ГОСТ не подходит.

Есть ГОСТ 9941-81 «Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали», предусматривающий производство труб наружным диаметром от 5,0 до 273 мм с толщиной стенки 0,2-22 мм. В данном ГОСТ не предусмотрено производство труб из стали 20Х13, но разрешается использование стали марки 12Х13 [20]. Согласно [1, 2 5] стали марок 12Х13 и 20Х13 являются взаимозаменяемыми, поэтому данный ГОСТ можно использовать в качестве проектной документации для производства труб, требуемых по заданию.

2.1.3. Выбор нормативной документации на трубы.

К плюсам горячего деформирования можно отнести более высокую производительность. Так же при горячем деформировании очень высокая окисляемость, что при толщине стенки 2,0 мм может стать серьезной проблемой, так как после удаления окалины трубы могут не пройти проверку на заданную точность.

Исходя из вышесказанного, в качестве проектной документации на трубы был выбран ГОСТ 9941-81 «Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионностойкой стали».

2.1.6. Требования, предъявляемые выбранным ГОСТ.

Согласно выбранному ГОСТ трубы должны соответствовать следующим критериям [18]:

- трубы внешним диаметром 32,0 мм и толщиной стенки 2,0 мм должны быть длиной не более 7 метров;
- предельные отклонения размеров при обычной точности изготовления: по наружному диаметру $\pm 1,2\%$, по толщине стенки от -12,5 до 15% (По требованию потребителя трубы изготавливают с комбинированными предельными отклонениями по диаметру и толщине стенки);
- овальность труб не должна выводить диаметр труб за предельные отклонения по наружному диаметру;
- кривизна труб на любом участке длиной 1 м не должна превышать 2 мм;
- концы труб должны быть обрезаны под прямым углом и зачищены от заусенцев; допускается образование фаски и шероховатости при их удалении;
- трубы должны быть термически обработанными.
- Наружная и внутренняя поверхности труб должны быть без плен, рванин, закатов, трещин. Допускается удаление дефектов местной зачисткой, сплошной или местной шлифовкой, расточкой и обточкой при условии, что величина расточки, обточки, сплошной шлифовки не выводит диаметр и

толщину стенки за минусовые предельные отклонения, а местной зачистки и шлифовки - толщину стенки за минусовые предельные отклонения. Без зачистки допускаются единичные плены, риски, рябизна, царапины и вмятины при условии, что они не выводят толщину стенки за минусовые предельные отклонения (По требованию потребителя единичные плены должны быть зачищены).

— Поверхность труб должна быть светлой. Допускается матовая поверхность с серым оттенком, обусловленная способом производства и маркой стали (Допускается изготавливать трубы без последующего травления после термической обработки в защитной атмосфере или вакууме с цветами побежалости на поверхности).

— По требованию потребителя трубы должны проходить контроль ультразвуком.

2.2 Расчет необходимого количества труб.

Согласно поставленной задаче, необходимо обеспечить производство труб диаметром 32 мм, толщиной стенки 2 мм из стали марки 20Х13 объемом 20 тысяч тонн. Для выбора способа производства необходимо знать количество труб и их суммарную длину. Зная размеры трубы и плотность стали можно легко вычислить эти параметры. Вычислим объем одной трубы:

$$V = S \cdot l, \quad (4)$$

где S – площадь поперечного сечения трубы,

l – длина трубы.

Площадь поперечного сечения трубы найдена по следующей формуле:

$$S = \pi \cdot c \cdot (D - c), \quad (5)$$

где D – диаметр трубы,

c – толщина стенки трубы.

Рассчитаем площадь поперечного сечения и объем трубы:

$$S = \frac{3,14 \cdot (0,032^2 - (0,032 - 2 \cdot 0,002)^2)}{4} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$V = 1,89 \cdot 10^{-4} \cdot 7 = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Далее вычислим массу одной трубы:

$$m = \rho \cdot V, \quad (6)$$

где ρ – плотность стали, согласно [2] $\rho = 7670 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

$$m = 7670 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} = 10,12 \text{ кг}.$$

Теперь, когда известна масса одной трубы, можно легко вычислить необходимое количество:

$$n = \frac{M}{m}, \quad (7)$$

где $M = 20$ тысяч тонн (необходимый объем производства труб).

Необходимое количество труб:

$$n = \frac{20000000}{10,12} = 1976284,58 \text{ труб.}$$

Так как количество труб должно быть целочисленным, округляем в большую сторону до 1 976 285 труб. Общая длина труб составит 13 833 995 метров.

2.3 Выбор технологического процесса и оборудования.

Первой операцией технологического процесса должна быть горячая деформация. Следовательно, конечной стадией производства трубы должен быть процесс холодной деформации. Начнем выбирать технологический процесс с его конца, то есть с процесса холодной деформации.

2.3.2 Выбор оборудования холодной деформации труб.

Есть 3 возможных варианта холодной деформации:

- 1) Волочение
- 2) Холодная прокатка на станах ХПТР
- 3) Холодная прокатка труб на станах ХПТ

Согласно [10] при волочении труб из нержавеющей и других высоколегированных сталей большие обжатия недопустимы, поэтому число проходов значительно возрастает. Помимо этого, оправочное волочение таких труб связано с большим расходом волочительного инструмента и получением плохой внутренней поверхности труб, что происходит из-за большой твердости металла трубы в наклепанном состоянии. При волочении на оправке затруднен ее захват.

Следовательно, остается два варианта: холодная прокатка на станах ХПТ и холодная прокатка на станах ХПТР. Преимуществом станов ХПТР является очень высокая точность прокатываемых труб, недостатком станов ХПТР является низкая производительность. Так как высокая точность трубы не требуется, наиболее целесообразным является изготовление труб на станах ХПТ.

Теперь необходимо выбрать стан ХПТ. Согласно [10] крупнейшим и самым современным отечественным производителем трубопрокатного оборудования является ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» (ОАО ЭЗТМ). Для того, чтобы обеспечить требуемую

производительность в 20 тысяч тонн в год необходимо современное высокопроизводительное оборудование.

На официальном сайте ОАО «ЭЗТМ» [21] есть информация о производимых на данном предприятии станах холодной прокатки труб. Данная информация представлена в таблице 5.

Таблица 5. Станы ХПТ, производимые на ОАО «ЭЗТМ» и их характеристики:

Стан	Диаметр заготовки, мм (max)	Диаметр готовой трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Производительность, м/ч	Мощность, кВт
ХПТ 20	20	6-15	0,3 – 2	50 – 200	50
ХПТ 40	40	8-25	0,3 – 3	30 – 400	80
ХПТ 60	60	16 – 40	0,4 – 5	30 – 400	150
ХПТ 80	80	20 – 60	0,6 – 10	30 – 300	200
ХПТ 110	110	40 – 90	2-20	30 – 250	300
ХПТ 150	150	80 – 120	1,5 – 15	30 – 200	450
ХПТ 200	200	100 – 180	43862	30 – 200	800
ХПТ 280	280	140 – 260	3-30	30 – 150	1000
ХПТ 500	500	180 – 450	3-30	20 – 100	1300
ХПТ 2-40	40	8-25	0,5 – 3	200 – 1200	100
ХПТ2-40Б	65,5	16-42	0,5-10	200-600	273
ХПТ 2-70	70	20 - 55	0,8 - 4	150 - 1000	210
ХПТ 2-110	110	40 - 90	43984	150 - 800	400

Исходя из данных таблицы 5 был выбран стан «ХПТ 2-70». Он идеально подходит по типоразмерам требуемой трубы, обладает высокой производительностью. Для обеспечения требуемой производительности в 20 тысяч тонн потребуется 3 таких стана, работающих параллельно (из расчета общей длины труб 13 833 995 метров, производительности стана 900 метров в час и количества рабочего времени 6500 часов в год). В таблице 6 представлены подробные характеристики стана. На рисунке 6 представлена схема стана.

Таблица 6. Подробные характеристики стана «ХПТ 2-70» [21]:

Технологические параметры:	
Уменьшение поперечного сечения заготовки, %, не более	
- при холодной прокатке углеродистых и легированных сталей	80
- при холодной прокатке нержавеющей сталей	70
Рабочее число двойных ходов клетки, в минуту, не более	100 ÷ 120
Величина подачи, мм.	2 ÷ 20
Угол поворота трубы за двойной ход, град.	5 ÷ 60
Конструктивные параметры:	
Длина хода роликов клетки, мм.	722
Длина рабочего участка калибра, мм.	620
Диаметр бочки калибра, мм.	300; 330
Диаметр стержня, мм.	18 ÷ 50
Расстояния между нитками, мм.	240
Радиус кривошипа, мм.	360
Общие данные	
Общая мощность двигателя стана, кВт.	210
Производительность в зависимости от сортамента прокатываемых труб, м/час.	150÷1000

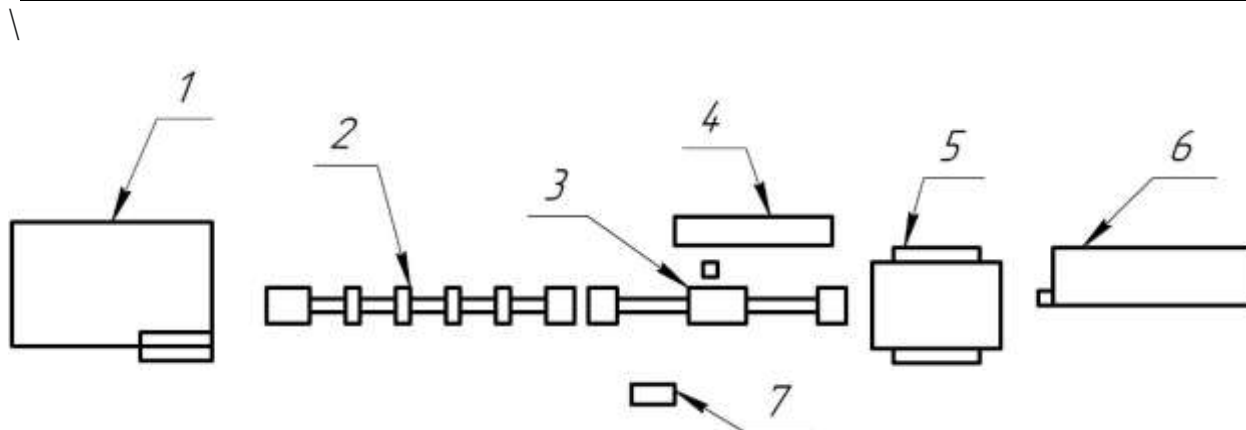


Рисунок 6 – схема стана «ХПТ 2-70» [21]:

1 – стол загрузки, 2 – участок подачи, 3 – система гидравлики,
4 – электропривод, 5 – рабочая клетка с приводом, 6 – стол приема готовых
труб, 7 – пункт управления станом.

2.3.2. Выбор размеров заготовки для холодной прокатки.

Максимальный диаметр заготовки для холодной прокатки на стане «ХПТ 2-70» не превышает 70 мм, максимальное уменьшение площади поперечного сечения заготовки (следовательно, и коэффициент вытяжки) для высоколегированных и нержавеющей сталей не должно превышать 70%.

Теперь необходимо определить максимальную степень деформации при холодном деформировании для стали 20Х13. Как известно, при холодной деформации металлов они происходят изменения механических свойств металла: возрастают прочностные характеристики, но снижаются пластические свойства. Это значительно влияет на процесс деформации и накладывает определенные ограничения, так как если металл продеформировать со слишком высокой степенью деформации он с высокой вероятностью разрушится в следствии ухудшение пластичных свойств. Допускать этого ни в коем случае нельзя.

Для того, чтобы определить максимальную степень деформации обратимся к источникам [10, 11], а также к рисункам 1, 2 из главы 1. При степени деформации равной 70% упрочнение стали 20Х13 достигает максимальных значений, а пластические свойства достигают минимальных значений. Из этого делаем вывод, при холодной прокате труб нельзя допускать степени деформации более 60-65%.

Исходную заготовку следует выбирать из расчета, чтобы стан работал с максимальной эффективностью и производительностью, при этом размеры заготовки не должны превышать максимально допустимых. Для этого необходимо достичь максимальных значений вытяжки и степени деформации, и при этом металл трубы не должен разрушиться.

Для выбора наилучшей заготовки для получения трубы требуемого размера рассмотрим несколько различных заготовок и произведем для них расчеты. Размеры заготовок и результаты расчета представлены в таблице 7

Для расчета степени деформации используется следующая формула:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \cdot 100\%, \quad (8)$$

где μ - коэффициент вытяжки.

Коэффициент вытяжки рассчитывается по следующему выражению:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1}, \quad (9)$$

где F_0, F_1 - площади поперечного сечения исходной заготовки и готовой трубы, мм².

Площади поперечного сечения исходной заготовки и готовой трубы рассчитывается по следующей формуле:

$$F_i = \pi \cdot s \cdot (D - s), \quad (10)$$

где D – внешний диаметр готовой трубы или исходной заготовки,
 s - внутренний диаметр готовой трубы или исходной заготовки.

Результаты расчета по формулам (8-10) внесены в таблицу 7.

Таблица 7. Данные для выбора заготовки для холодной прокате трубы на стане «ХПТ 2-70»:

№ заготовки	0*	1	2	3	4	5
внешний диаметр, мм	32	65,5	55	50	45	42
толщина стенки, мм	2	8	7	6	5	4
площадь поп. сечения, мм ²	188,49	1445,13	1055,57	829,38	628,319	477,52
к-нт вытяжки	1,00	7,667	5,600	4,40	3,333	2,53
степень деформации, %	0,00	86,96	82,14	77,27	70,00	60,53

*Примечание: под нулевой заготовкой имеется ввиду готовая труба

По результату анализа данных в таблице 7 приходим к выводу, что наиболее рациональной является заготовка № 5 с размерами 42×4 мм. Примем длину заготовки равной 3 метрам, тогда длина готовой трубы составит 7,6 метра, что на 0,6 метра больше необходимого. Этот избыток длинны нужен для обрезки переднего и заднего конца трубы

Теперь необходимо выбрать способ изготовления заготовки. В работе [13] для изготовления заготовок для холодной прокатке труб из высоколегированных и труднодеформируемых сталей и сплавов рекомендуют использовать процесс прессования, так он обладает следующими преимуществами:

- Возможность получить трубы относительно небольшого диаметра и толщины стенки;
- Удовлетворительное качество поверхности, даже при использовании малопластичных и труднодеформируемых металлов и сплавов;

Процесс прессования также обладает следующими недостатками:

- Низкая производительность процесса;
- Большой расходный коэффициент.

2.3.3 Выбор трубопрессового оборудования и его характеристики

Рассмотрим процесс прессования в условиях трубопрессового цеха № 2 в ОАО «Волжский трубный завод» (далее ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ»). План расположения оборудования прессовой установки 20 МН на участке горячей деформации представлен на рисунке 6. Характеристики трубопрофильного пресса представлены в таблице 8.

Состав основного оборудования ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ» [26, 27]:

- 1) Горизонтальная индукционная печь
- 2) Вертикальный гидравлический экспандирующий пресс усилием 650т

- 3) линия прессования с горизонтальным прессом усилием 2000 тонн, изготовитель «Clesim» (Франция), для производства труб диаметром 42-114 мм;
- 4) линия прессования с горизонтальным прессом усилием 5500 тонн, изготовитель «Mannesmann-Demag» (Германия), для производства труб диаметром 114-273 мм;
- 5) участок химической обработки труб;
- 6) роликовая печь для нормализации и отпуска труб;
- 7) линии отделки труб;
- 8) участок охлаждающего стола.

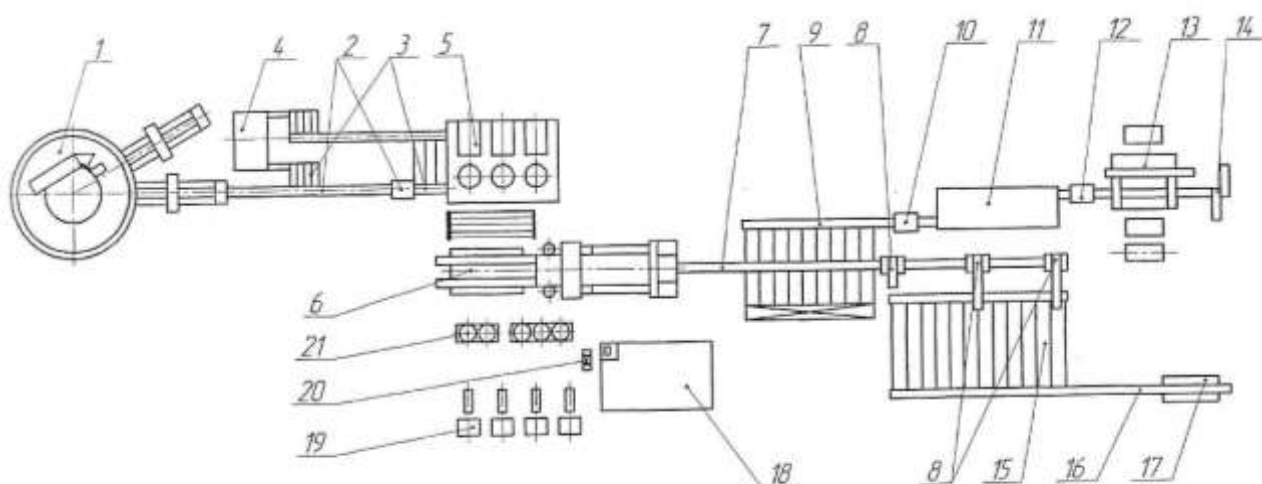


Рисунок 6: план расположения оборудования прессовой установки на участке горячей деформации [25] 1- газовая нагревательная печь; 2 – установка для гидросбива окалины; 3 – механизм нанесения смазки; 4 – прошивной пресс; 5 – подогревательные индукционные печи; 6 – трубопрофильный пресс; 7 – выходной рольганг трубного пресса; 8 – пила горячей резки, 9 – выходной рольганг подогревательной печи; 10 – установка для гидросбива окалины и смазки; 11 – газовая подогревательная печь; 12 – механизм для снятия окалины и смазки с наружной поверхности труб; 13 – редукционный стан; 14- летучая пила; 15 – охлаждающий стол; 16 – отводящий рольганг; 17 – установки для дробеструйной отчистки наружной поверхности труб; 18 – машинный зал; 19 – водяные насосы; 20 – воздушные компрессоры; 21 – воздушно-гидравлические аккумуляторы

Требования, предъявляемые к заготовкам:

Длина заготовки: 330-800 мм

Диаметр заготовки: 145, 164, 184, 190, 204, 220 мм

Требования, предъявляемые к трубам:

Диаметр труб от 42 до 146 мм.

Толщина стенки от 4 до 25 мм.

Длина от 4500 до 14400 мм.

Таблица 8. Технические характеристики трубопрофильного прессы в ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ»:

название характеристики	единица измерения	значение
Усилие прессы	т	2000
Давление гидравлической жидкости	кгс/см ²	315
Количество главных цилиндров	шт.	1
Количество цилиндров обратного хода	шт.	2
Усилие главного цилиндра	т.	2000
Усилие цилиндра обратного хода	т.	410
Ступени давления	т.	1600, 2000
Скорость прессования	мм/с	до 300
Скорость холостого хода	мм/с	до 600

2.3.4 Выбор заготовки

Сталь марки 20Х13 может поставляться в виде трубных заготовок (ТУ 14-1-565-84 и ТУ 14-1-4992-2003 [22-23]). По ТУ 14-1-565-84 трубные заготовки поставляются диаметром от 156 мм и длиной от 9000 до 11500 мм, но по согласованию с потребителем возможна поставка трубной заготовки других диаметров (в этом случае диаметры указывают в заказе). По ТУ 14-1-565-84 трубные заготовки диаметром до 200 мм, а длина заготовки определяется по ГОСТ 2590-88 [24]. Согласно нему заготовки из нержавеющей сталей поставляются длиной от 1 до 6 метров.

Выбирать заготовку необходимо исходя из пластических свойств стали при горячей деформации и технических возможностей оборудования. По этим параметрам лучше всего подойдет трубная заготовка диаметром 145 мм, длиной 9300 мм, изготавливаемая по ТУ 14-1-4992-2003 [23].

2.3.5 Разработка процесса прессования труб

Производство труб может осуществляться по двум различным технологическим схемам [25]:

1) экспандирование предварительно просверленной заготовки на прессе 650т и прессование труб на прессе 2000т;

2) прессование труб на прессе 2000т предварительно просверленных заготовок (прямое прессование) с холодного или горячего посада.

Учитывая то, что внутренний диаметр трубы (диаметр отверстия) равен 34 мм, логично будет сделать в заготовке отверстие такого же диаметра. Согласно [26] при изготовлении труб прессованием полая гильза может быть получена тремя способами:

1) Сверлением отверстия в сплошной заготовке;

2) Экспандированием предварительно сверленного отверстия на прошивном стане;

3) Прошивкой сплошной заготовки на заданный диаметр.

Для отверстий менее 50 мм применяют первый способ, так как минимальный диаметр экспандера прошивного стана составляет 50 мм [25, 26]. Учитывая это, выбираем вторую технологическую схему: прессование труб на прессе 2000т предварительно просверленных заготовок.

Заготовка длиной 9300 мм является слишком длинной, так как максимальная длина заготовки для выбранного оборудования не должна превышать 800 мм. Нужно разрезать заготовку на более мелкие заготовки, при этом следует учесть удлинение заготовки, т. к. максимальная длина готовой трубы на выбранном оборудовании не должна превышать 14400 мм.

Определим коэффициент удлинения (коэффициент вытяжки) при прессовании.

Вычислить коэффициент вытяжки (удлинения) можно по формуле (9):

$$\mu = \frac{0,015605}{0,000478} = 32,679.$$

Есть еще одна формула для расчета коэффициента вытяжки (удлинения):

$$\mu = \frac{l_1}{l_0}, \quad (11)$$

где l_1 - длина трубы после прессования,

l_0 - длина заготовки.

Из формулы (11) можно вывести формулу для расчета длины исходной заготовки, если известна длина готовой трубы:

$$l_0 = \frac{l_1}{\mu}, \quad (12)$$

Исходя из максимально возможной для выбранного оборудования длины трубы (14400 мм) и коэффициента вытяжки по формуле (12) вычислим максимальную длину заготовки:

$$l_{0_{\max}} = \frac{14400}{32,679} = 441,87 \text{ мм}$$

Как видно из расчета максимальная длина заготовки не должна превышать 440 мм. Следует учесть то, что длина заготовки для стана ХПТ составляет 3000 мм. Исходя из максимально возможной длины трубы делаем вывод, что из одной прессовой заготовки можно получить максимум 4 заготовки для стана ХПТ. Следовательно, длина трубы после прессования должна составить не менее 12400 мм (оставляем 100 мм в качестве допуска на обрез)

Также необходимо учесть длину обреза. Согласно источнику [] с каждой прессованной трубы отрезается 100 мм заднего конца, 250 мм с переднего

конца. Всего обрезается 350 мм. С учетом обрезки длина трубы составит $12400+350=12750$ мм.

Дополнительно необходимо учесть длину пресс-остатка. Согласно источнику [25] принимаем его равным 200 мм. В таком случае длина готовой прессованной трубы должна составлять не менее: $12750+200=12950$ мм

Произведем расчет длины заготовки по формуле (12):

$$l_0 = \frac{12950}{32,679} = 396,28 \text{ мм.}$$

Принимаем длину заготовки равной 400 мм. В таком случае из одной трубной заготовки длиной 9300 мм можно получить 22 заготовки для прессования (с учетом допуска на рез).

2.4. Расчет расходного коэффициента металла

Произведем расчет расходного коэффициента металла для всего процесса производства труб от трубной заготовки для прессования до готовой трубы, выходящей из стана ХПТ.

Расходный коэффициент металла рассчитывается по следующей формуле [25]:

$$K = \frac{M_{\text{заг}}}{m_{\text{труб}}} \quad (13)$$

где $M_{\text{заг}}$ - масса заготовки для прессования до резки и сверления,

$m_{\text{труб}}$ - масса всех труб, получаемых из одной заготовки для прессования, массу одной трубы можно найти по формуле (6).

Масса заготовки до резки и сверления рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l \cdot \rho \quad (14)$$

Где D - диаметр заготовки,

l - длина заготовки,

ρ - плотность металла заготовки.

Масса исходной заготовки:

$$M_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot 0,145^2}{4} \cdot 9,3 \cdot 7670 = 1177,29 \text{ кг.}$$

Как было показано ранее из одной трубной заготовки можно получить 22 заготовки для процесса прессования. Из одной отпрессованной трубы получается 4 заготовки для стана ХПТ. Следовательно, из одной трубной заготовки можно получить 88 труб. Масса одной трубы равна 10,12 кг (см. формулу (6)). Следовательно, общая масса труб составляет 890,56 кг.

Расходный коэффициент металла:

$$K = \frac{1177,29}{890,56} = 1,32;$$

Следовательно, 32% металла уходит в отходы. Для производства 20 тысяч тонн труб потребуется не менее 26,4 тысяч тонн металла.

2.5. Расчет производительности прессовой установки.

После определения оборудования и основных параметров процесса прессования необходимо произвести расчет производительности прессовой установки, чтобы убедиться в том, что выбранное оборудование и основные параметры процесса смогут обеспечить требуемую производительность в 20 тысяч тонн (с учетом расходного коэффициента металла 26,4 тонн в год)

Современные трубопрофильные прессы проектируют с теоретическим циклом работы 24-48 секунд в зависимости от их мощности, что составляет 140-75 прессований в час [25]. Примем, что в ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ» цикл работы при заданных параметрах составляет 30 секунд. В этом случае получаем 120 прессований в час.

Часовую производительность прессовой установки определим по формуле [25]:

$$P_{\text{ч.з.}} = 120 \cdot K \cdot G_{\text{исх.з.}}, \quad (15)$$

где k - коэффициент неравномерности производства, который рекомендуется принимать равным 0,9,

$G_{исх.з.}$ - масса прессуемой заготовки.

Массу прессуемой заготовки можно рассчитать по следующей формуле:

$$G_{исх.з.} = F \cdot l \cdot \rho , \quad (16)$$

Где F - площадь поперечного сечения заготовки, определяемая по формуле (10)

l - длина заготовки

ρ - плотность металла заготовки

Масса исходной заготовки:

$$G_{исх.з.} = 0,015605 \cdot 0,39 \cdot 7760 = 47,22 \text{ кг}$$

Часовая производительность прессовой установки:

$$П_{ч.з.} = 120 \cdot 0,9 \cdot 47,22 = 5,1 \text{ тонн}$$

Годовую производительность определим умножением часовой производительности на фонд рабочего времени, который принимают по соответствующим нормам Гипромеза.

Так, годовую производительность при непрерывном четырехбригадном графике работы можно определить по формуле:

$$П_{год} = 6500 \cdot П_{ч.з.}, \quad (17)$$

Произведем расчет годовой производительности:

$$П_{год} = 6500 \cdot 5,1 = 33,15 \text{ тысяч тонн}$$

Расчетная производительность при заданных параметрах составляет 33,15 тысяч в год, что с достаточно большим запасом больше требуемого.

2.6 Полная схема технологического процесса:

1. Приемка трубных заготовок.
2. Резка трубных заготовок, измерение длины.

3. Сверление центрального отверстия.
4. Складирование полученных гильз.
5. Нагрев заготовок до температуры прессования.
6. Нанесение стеклосмазочных материалов.
7. Прессование.
8. Обрезка пресс-остатка.
9. Охлаждение.
10. Травление смазки и окалины.
11. Проверка геометрических параметров трубы.
12. Правка (при необходимости).
13. Обрезка переднего и заднего концов, резка трубы на мерные длины.
14. Складирование отпрессованных труб на складе готовой продукции в трубопрессовом цехе.
15. Транспортировка в цех холодной прокатки труб.
16. Складирование заготовок на складе заготовок в цехе холодной прокатки труб.
17. Холодная прокатка труб.
18. Обрезка концов труб, снятие фаски.
19. Контроль геометрических параметров труб на предмет соответствия ГОСТ 9941-81.
20. Термообработка (по согласованию с заказчиком).
21. Складирование готовых холоднокатаных труб на складе готовых труб в цехе холодной прокатки труб.
22. Отгрузка готовых холоднокатаных труб заказчику.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ УСИЛИЯ ПРЕССОВАНИЯ.

3.1 Выбор температуры прессования и расчет сопротивления деформации.

В настоящее время существует множество различных методов определения усилия прессования. Одними из самых распространенных являются метод Перлина для определения установившегося усилия и метода Сежурне для определения максимального усилия прессования [14]. Вначале произведем расчет по методике Перлина, затем по методике Сежурне. После этого можно будет сделать вывод о том, возможно ли выполнить операцию прессования на выбранном оборудовании или нет.

Но перед тем, как рассчитывать усилие прессования необходимо выбрать температуру горячего прессования и рассчитать сопротивление деформации. Без этих параметров расчет усилия будет невозможен. Принимаем температуру прессования такой, какой она указана в технологической инструкции [26], т. е. $T=1150$ °С.

Теперь необходимо рассчитать сопротивление пластической деформации. Сопротивление пластической деформации для стали марки 20Х13 определяется с использованием выражения [28,29]:

$$\sigma_s = 121,5 \cdot U_c^{0,132} \cdot (10 \cdot \varepsilon_c)^{0,21} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{-3,26}, \quad (18)$$

где U_c – средняя скорость деформации, согласно ... при скорости движения пресс-штемпеля 150 мм/с принимаем $U_c=25$ с⁻¹;

ε_c – средняя степень деформации; %

t – температура деформации, К

Вычислим степень деформации для процесса прессования по формуле (8):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{1}{32,679}\right) \cdot 100\% = 96,94\% .$$

Произведем расчет сопротивления пластической деформации стали марки 20Х13 при температуре 1150 °С:

$$\sigma_s = 121,5 \cdot 25^{0,132} \cdot (10 \cdot 96,94)^{0,21} \cdot \left(\frac{1423}{1000}\right)^{-3,26} = 249,36 \text{ МПа.}$$

3.2 Расчет установившегося усилия прессования по методу Перлина

Формулы для расчета установившегося усилия прессования по методу Перлина и пикового значения усилия прессования согласно методу Сежурне взяты из источников [14, 30-37].

Установившиеся усилие прессования по методу Перлина рассчитывается по следующей формуле:

$$P = T_k + T_m + R_m + T_n + T_{mi} + Q, \quad (19)$$

где T_k – составляющая полной силы на пресс-шайбе, соответствующая силам трения, возникающим на боковых поверхностях контейнер и иглы;

T_m – составляющая усилия, направленная на преодоление напряжений трения на поверхности матрицы или напряжений среза «мертвой» зоны;

R_m – составляющая усилия, направленная на преодоление мощности внутренних сил (на собственно деформацию);

T_n – составляющая усилия на преодоление напряжений трения на калибрующем пояске матрицы;

T_{mi} – составляющая усилия, соответствующая силам трения металла по рабочему торцу пресс-шайбы;

Q – составляющая усилия, соответствующая противодействию (или натяжению), приложенному к выходящему пресс-изделию.

Составляющая усилия, направленная на преодоление мощности внутренних сил:

$$R_m = 0,9 \cdot \left[\frac{D_n^2}{\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{d_{o.n.}^2}{\cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \right] \cdot \ln\left(\frac{F_n}{F_k}\right) \cdot K_{mc} \quad (20)$$

где $D_n, d_{o.n.}, \alpha, \varphi$ определяются по рисунку 7.

Принимаем $D_n = 0,145$ м, $d_{o.n.} = 0,034$ м, $\alpha = 60^\circ$, $\varphi = 13^\circ$,

F_n – площадь поперечного сечения прошивной заготовки,

F_k площадь поперечного сечения отпрессованной трубы,

K_{mc} – величина, принимаемая равной половине сопротивления металла пластической деформации.

Составляющая полной силы на пресс-шайбе:

$$T_k = \pi \cdot (D_n + d_{o.n.}) \cdot (L_n - h_{y.z.p.}) \cdot f_k \cdot K_k, \quad (21)$$

где L_n – длина распрессованной заготовки;

$h_{y.z.p.} = \left(\frac{D_n - d_k}{2}\right) \cdot (0,58 - \text{ctg} \alpha)$ – высота «мертвых» зон около матрицы, ее

определяют если $\alpha < 60^\circ$, при $\alpha > 60^\circ$ $h_{y.z.p.}$ принимают равным нулю;

f_k – коэффициент трения на боковой поверхности контейнера;

K_k – предел текучести на сдвиг периферийных слоев слитка;

Составляющая усилия на преодоление напряжений трения на поверхности матрицы:

$$T_m = f_{km} \cdot K_{m.b.} \cdot \left(\frac{\pi}{2 \cdot \sin \alpha}\right) \cdot (D_n^2 - d_k^2) \cdot \ln\left[\frac{D_n - d_k}{D_k - d_k}\right], \quad (22)$$

f_{km} – коэффициент трения по боковой поверхности;

$K_{m.b.}$ – предел текучести на сдвиг трущегося слоя;

Если $\alpha > 60^\circ$, то принимают $\alpha = 60^\circ$ и $f_{km} = 1$.

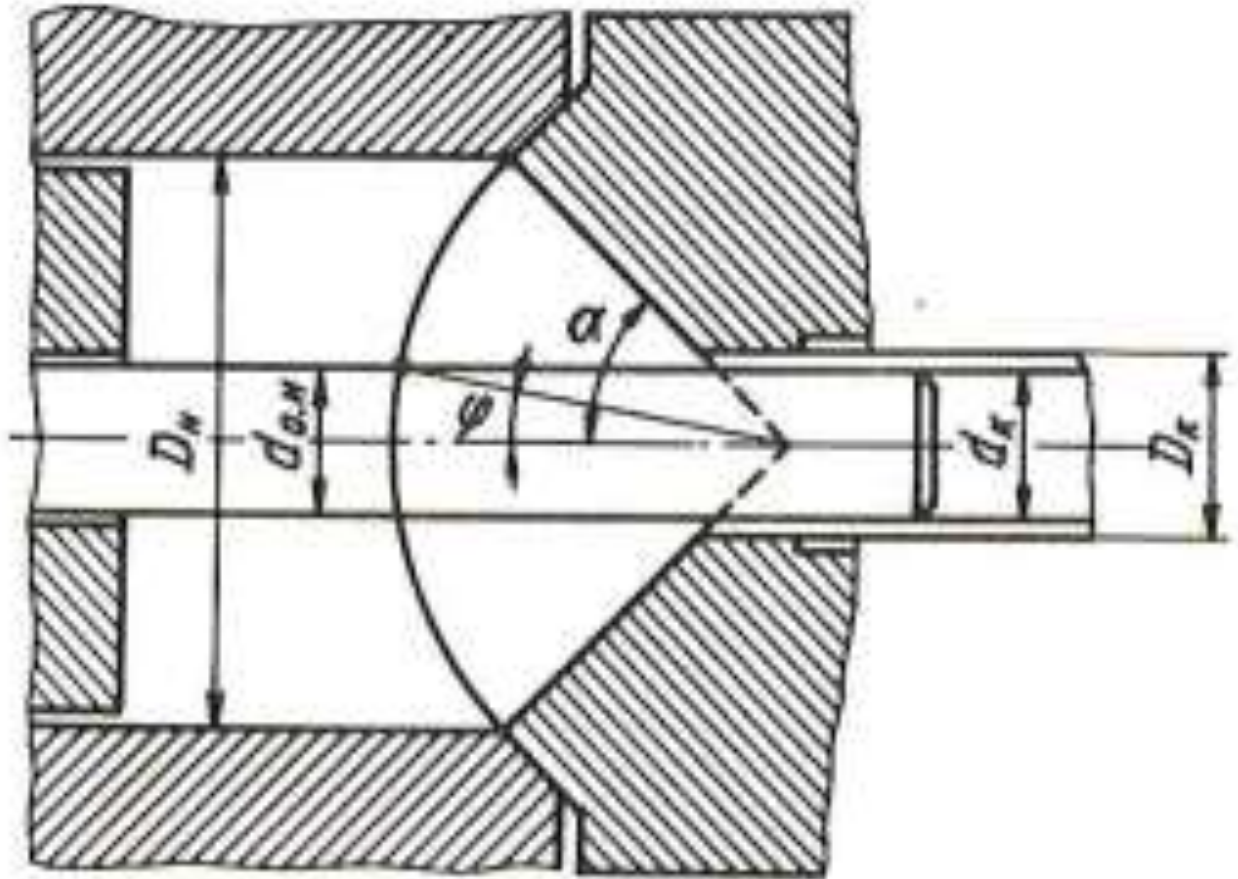


Рисунок 7. Схема для определения параметров, необходимых для расчета составляющей усилия, направленной на преодоление мощности внутренних сил силы R_m .

Составляющая усилия на преодоление напряжений трения на калибрующем пояске матрицы:

$$Tn = \mu \cdot f_{к.л.} \cdot K_{м.к.} \cdot F_{т.п.}, \quad (23)$$

где μ – вытяжка при прессовании;

$f_{к.л.}$ – коэффициент трения по пояску и оправке (если имеется);

$K_{м.к.}$ – предел текучести на сдвиг материала пресс-изделия;

$F_{т.п.}$ – контактная поверхность по пояску и оправке (если имеется), определяемая произведением суммарного периметра поперечного сечения пресс-изделия на среднюю эффективную длину пояска.

Составляющую усилия, соответствующую силам трения металла по рабочему торцу пресс-шайбы $T_{ми}$ обычно принимают $T_{ми} = 0$.

Составляющая усилия, соответствующая противодействию (или натяжению), приложенному к выходящему пресс-изделию Q также равно нулю, так как нет противодействия, приложенного к выходящему пресс-изделию.

$f_{км}$, $f_{кп}$ можно принять равными 0,02, так как согласно [28, 38] коэффициенты трения при прессовании труб с использованием современных стеклосмазочных материалов принимают значения 0,019...0,022.

$K_{м.к.}$, $K_{м.б.}$ можно принять равными пределу текучести при заданной температуре прессования. Исходя из данных таблицы 4 $K_{м.к.}$, $K_{м.б.}$ принимаем равными 21 Мпа.

Произведем расчеты. Составляющая усилия, направленная на преодоление мощности внутренних сил:

$$R_m = 0,9 \cdot \left[\frac{0,145^2}{\cos^2\left(\frac{60}{2}\right)} - \frac{0,034^2}{\cos^2\left(\frac{13}{2}\right)} \right] \cdot \ln\left(\frac{0,015605}{0,000478}\right) \cdot 124,678 = 10,51 \text{ МН}.$$

Составляющая полной силы на пресс-шайбе:

$$T_k = 3,14 \cdot (0,145 + 0,034) \cdot (0,4 - 0) \cdot 0,02 \cdot 21 = 0,094 \text{ МН}.$$

Составляющая усилия на преодоление напряжений трения на поверхности матрицы:

$$T_m = 0,02 \cdot 21 \cdot \left(\frac{3,14}{2 \cdot \sin 60} \right) \cdot (0,145^2 - 0,034^2) \cdot \ln\left[\frac{0,145 - 0,034}{0,042 - 0,034} \right] = 1,105 \text{ МН},$$

Составляющая усилия на преодоление напряжений трения на калибрующем пояске матрицы:

$$T_n = 32,679 \cdot 0,02 \cdot 21 \cdot 0,017 = 0,232 \text{ МН}.$$

Установившееся усилие прессования по методике Перлина:

$$P = 10,51 + 1,105 + 0,232 + 0,094 = 11,941 \text{ МН}.$$

3.3 Расчет пикового значения усилия прессования по формуле Сежурне.

Определим максимальное (пиковое) усилие прессования по формуле Ж. Сежурне:

$$P_{\max} = \frac{\pi}{4} (D_K^2 - d_u^2) \sigma_s \ln(\mu) e^{\frac{4fl}{D_K - d_u}}, \quad (24)$$

где D_K – диаметр втулки контейнера трубопрофильного пресса, мм;

d_u – диаметр пресс-иглы, мм;

f – коэффициент трения на поверхностях контакта металла с инструментом;

l – длина гильзы в контейнере трубопрофильного пресса в подпрессованном состоянии, мм.

Произведем расчет максимального (пикового) усилия прессования:

$$P_{\max} = \frac{\pi}{4} (145^2 - 34^2) \cdot 249,357 \cdot \ln(32,679) \cdot e^{\frac{4 \cdot 0,02 \cdot 400}{145 - 34}} = 18,09 \text{ МН}.$$

Полученные значения установившегося и пикового усилий прессования меньше 20 МН, следовательно, предложенный режим прессования осуществим.

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

4.1 Расчет полного усилия на валок

Рассчитаем энергосиловые параметры процесса холодной прокатки труб в сечении выхода трубы за калибра. Для этого воспользуемся методикой Ю. Ф. Шевакина. Все формулы для расчетов в этой главе взяты в источниках [12, 13, 39, 40]

Полное усилие на валок при прямом ходе клетки находится из выражения:

$$P_{np} = p_{np} \cdot F_{np}, \quad (25)$$

для обратного хода по выражению:

$$P_{обр} = p_{обр} \cdot F_{обр}, \quad (26)$$

где p_{np} , $p_{обр}$ - среднее давление прокатки при прямом и обратном ходах клетки.
 F_{np} , $F_{обр}$ - площади горизонтальной проекции контактной поверхности при прямой и обратной клетки.

Среднее давление прокатки при прямом и обратном ходах клетки:

$$p_{np} = \sigma_s \left[\eta_\omega + f \cdot \left(\frac{S_0}{S} - 1 \right) \cdot \frac{R_s}{R_{ш}} \cdot \frac{l_{np}}{S} \right], \quad (27)$$
$$p_{обр} = \sigma_s \left[\eta_\omega + 2 \cdot f \cdot \left(\frac{S_0}{S} - 1 \right) \cdot \frac{R_{ш}}{R_s} \cdot \frac{l_{обр}}{S} \right],$$

где σ_s - временное сопротивление металла трубы

η_ω - 1,02... 1,08 - коэффициент, учитывающий схему напряжений

f - коэффициент трения (для сталей и алюминиевых сплавов $f = 0,08...0,10$)

R_s - радиус валка по вершине калибра

S_0 и S - толщины стенок заготовки и трубы

$R_{ш}$ - радиус начальной окружности ведущей шестерни

l_{np} , $l_{обр}$ - Длина очага деформации при прямом и обратном ходе клетки

Площади горизонтальной проекции контактной поверхности при прямой и обратной клети определяются по выражениям:

$$F_{np} = \eta \cdot D \cdot l_{np} + \Delta F, \quad (28)$$

$$F_{обр} = \eta \cdot D \cdot l_{обр} + \Delta F, \quad (29)$$

где:

$$\Delta F = 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot D \cdot \left(\frac{\pi R_0}{8} - \frac{D}{6} \right), \quad (30)$$

-приращение контактной поверхности за счет упругого сплющивания валков;

$\eta = 1,20 \dots 1,25$ - коэффициент формы контактной поверхности для

двухвалковых станов;

D - диаметр трубы в данном сечении;

$l_{np}, l_{обр}$ - длина очага деформации при прямом и обратном ходе клети;

σ_{ϵ} - временное сопротивление металла трубы, в нашем случае рассчитывается по формуле (1) при степени деформации 70%;

R_0 - радиус калибра по реборде.

Длина очага деформации при прямом и обратном ходе клети рассчитывается по следующим формулам:

$$l_{np} = \sqrt{2 \cdot R_0 \cdot \Delta S_{np}}, \quad (31)$$

$$l_{обр} = \sqrt{2 \cdot R_0 \cdot \Delta S_{обр}},$$

где $\Delta S_{np}, \Delta S_{обр}$ - истинные обжатия по толщине стенки при прямом и обратном ходе клети, которые рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta S_{np} = 0,7 \cdot \Delta S, \quad (32)$$

$$\Delta S_{обр} = 0,3 \cdot \Delta S,$$

где ΔS - истинное обжатие по толщине стенки.

Истинное обжатие по толщине стенки можно рассчитать по формуле:

$$\Delta S = m \cdot \mu \cdot (tg \beta - tg \alpha), \quad (33)$$

где m - величина подачи, для нашего стана принимаем ее равной 10 мм;

μ - коэффициент вытяжки;

$tg \beta$ - конусность развёртки калибра;

$tg \alpha$ - конусность оправки.

Конусности развёртки калибра и оправки рассчитывается по следующим формулам:

$$tg \beta = \frac{(D_6 - D_{mp}) - (D_6 - D_{заг})}{\pi D_6}, \quad (34)$$

$$tg \alpha = \frac{(D_{заг} - 2 \cdot S_{заг}) - (D_{mp} - 2 \cdot S_{mp})}{\pi D_6}, \quad (35)$$

где D_6 - диаметр валка;

D_{mp} - диаметр трубы;

$D_{заг}$ - диаметр заготовки;

$S_{заг}$ - толщина стенки заготовки;

S_{mp} - толщина стенки трубы.

Произведем расчеты.

Конусность оправки:

$$tg \alpha = \frac{(42 - 2 \cdot 4) - (32 - 2 \cdot 2)}{3,14 \cdot 330} = 0,005.$$

Конусность развёртки калибра:

$$tg \beta = \frac{(330 - 32) - (330 - 42)}{3,14 \cdot 330} = 0,009.$$

Истинные обжатия по толщине стенки:

$$\Delta S = 10 \cdot 2,533 \cdot (0,009 - 0,005) = 0,092,$$

$$\Delta S_{np} = 0,7 \cdot 0,092 = 0,065,$$

$$\Delta S_{обр} = 0,3 \cdot 0,092 = 0,028.$$

Длина очага деформации при прямом и обратном ходе клетки:

$$l_{np} = \sqrt{2 \cdot 149 \cdot 0,065} = 4,387 \text{ мм},$$

$$l_{обр} = \sqrt{2 \cdot 149 \cdot 0,028} = 2,872 \text{ мм}.$$

Приращение контактной поверхности за счет упругого сплющивания валков

$$\Delta F = 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 830,762 \cdot 32 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 149}{8} - \frac{32}{6} \right) = 55,134 \text{ мм.}$$

Площади горизонтальной проекции контактной поверхности при прямой и обратной клети:

$$F_{np} = 1,2 \cdot 32 \cdot 4,387 + 55,314 = 223,607 \text{ мм}^2,$$

$$F_{обр} = 1,2 \cdot 32 \cdot 2,872 + 55,314 = 165,425 \text{ мм}^2.$$

Среднее давление прокатки при прямом и обратном ходах клети:

$$p_{np} = 796,436 \left[1,02 + 0,08 \cdot \left(\frac{4}{2} - 1 \right) \cdot \frac{149}{148,5} \cdot \frac{4,387}{2} \right] = 952,6 \text{ МПа},$$

$$p_{обр} = 796,436 \left[1,02 + 2 \cdot 0,08 \cdot \left(\frac{4}{2} - 1 \right) \cdot \frac{148,5}{149} \cdot \frac{2,872}{2} \right] = 994,75 \text{ МПа}.$$

Полное усилие на валок при прямом и обратном ходе клети:

$$P_{np} = 952,61 \cdot 223,607 = 213 \text{ КН},$$

$$P_{обр} = 994,75 \cdot 165,425 = 164,56 \text{ КН}.$$

4.2 Расчет осевого усилия

После расчета усилия на валок необходимо рассчитать осевое усилие. Осевые усилия возникают вследствие действия сил трения на контактных поверхностях с калибрами. Рассчитать осевое усилие можно по формуле:

$$Q = 2 \cdot f \cdot p_i \cdot (F_{om} - F_{on}), \quad (36)$$

где f - коэффициент трения;

p_i - среднее давление прокатки при прямом и обратном ходах клети;

F_{om} , F_{on} - площади зон отставания и опережения.

Площадь зоны отставания:

$$F_{om} = 0,705 \cdot \varphi \cdot \sqrt{\Delta S_{np} \cdot (1 - k_s) \cdot R_g}, \quad (37)$$

где φ - угол, определяющий положение радиуса ведущей шестерни;

$k_s = 0,4$ – доля выпуска, не участвующая в деформации.

Площадь зоны опережения:

$$F_{on} = F_{np} - F_{om}. \quad (38)$$

Угол, определяющий положение радиуса ведущей шестерни, рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{R_0 - R_{ш}}{R_{mp}}\right). \quad (39)$$

где R_{mp} - радиус трубы.

Произведем расчеты. Угол, определяющий положение радиуса ведущей шестерни:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{149 - 148,5}{16}\right) = 0,032.$$

Площадь зоны отставания:

$$F_{om} = 0,705 \cdot 0,302 \cdot \sqrt{0,092 \cdot (1 - 0,4) \cdot 165} = 5,32 \text{ мм}^2.$$

Площадь зоны опережения:

$$F_{on} = 223,607 - 5,32 = 218,287 \text{ мм}^2.$$

Осевое усилие при прямом ходе клетки (при прямом ходе клетки зона отставания отсутствует):

$$Q_{np} = 2 \cdot 0,05 \cdot 952,604 \cdot (-218,287) = -21,3 \text{ кН}.$$

Осевое усилие при обратном ходе клетки:

$$Q_{np} = 2 \cdot 0,05 \cdot 994,75 \cdot (5,32 - 218,287) = -21,185 \text{ кН}.$$

Отрицательные значения осевых усилий говорят о том, что осевые усилия сжимающие.

4.3 Расчёт момента прокатки.

Момент прокатки на одном валке рассчитывается как сумма моментов сил, препятствующих вращению валка. Если считать, что плечо вертикальной составляющей силы P равно половине длины мгновенного очага деформации,

а плечо осевой силы равно радиусу ведущей шестерни, момент прокатки при прямом ходе клетки с учетом направления осевого усилия можно определить по формуле:

$$M_{np} = P_{np} \cdot \frac{l_{np}}{2} - \frac{Q_{np}}{2} \cdot R_{ш}. \quad (40)$$

При обратном ходе клетки с учетом направления осевого усилия используют формулу:

$$M_{обр} = P_{обр} \cdot \frac{l_{обр}}{2} - \frac{Q_{обр}}{2} \cdot R_{ш}. \quad (41)$$

Произведем расчеты момента прокатки при прямом и обратном ходе клетки:

$$M_{np} = 213 \cdot \frac{4,387}{2} - \frac{-21,3}{2} \cdot 148,5 = 2048,858 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$M_{обр} = 164,557 \cdot \frac{2,872}{2} - \frac{-21,185}{2} \cdot 148,5 = 1809,301 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Как видно из расчетов момент прокатки и осевое усилие находятся в пределах нормы, но полное усилие на валок выходит за пределы максимальной мощности стана на 3 кВт. Но данную проблему можно легко устранить заменив двигатель стана «ХПТ 2-70» на более мощный.

ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ ПРОЦЕССА.

5.1 Рекомендации для процесса холодной прокатки труб на стане ХПТ2-70.

Согласно официальному сайту ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» [21] стан «ХПТ 2-70» оснащается современными средствами автоматизации, приборами контроля, гидравлическим и смазочным оборудованием. Уровень автоматизации стана – полностью автоматический. Системы автоматизации фирм «Сименс» (Германия) и «АВВ» (Швеция). Стан «ХПТ 2-70» является автоматизированным агрегатом, и управление им в установившемся режиме производится одним оператором.

Работы по переналадке стана при переходе с одного размера на другой, замене калибров и прочего сменного технологического инструмента выполняются двумя операторами. Рабочим местом оператора является вся территория, занимаемая станом.

Управление станом осуществляется с главного пульта, устанавливаемого в районе рабочей клетки.

Исходя из выше сказанного, можно сказать, что стан «ХПТ 2-70» не нуждается в дополнительной автоматизации, он достаточно хорошо автоматизирован в исходном состоянии.

Для метрологического сопровождения процесса холодной прокатки труб можно предложить использовать лазерный измеритель диаметра трубы, который будет расположен в месте, где выходит труба. Благодаря тому, что современные лазерные измерители способны измерять диаметры в разных плоскостях и с очень высокой частотой измерений, можно мгновенно узнать овальность диаметра трубы и бочкообразность трубы, а также в режиме реального времени отслеживать геометрические параметры трубы. Толщину стенки можно измерять ультразвуковым измерителем толщины стенки.

Также желательно проводить дополнительный контроль качества труб. Например, проверять трубу ультразвуком на наличие внутренних дефектов.

Современные ультразвуковые установки позволяют в режиме реального времени находить дефекты, определять их точные координаты, но не способны определять тип дефекта [41-42].

Для определения типа дефекта потребуется специальная рентгеновская установка, в которую загружают трубу с обнаруженным дефектом и зная точные координаты дефекта определяют тип дефекта, затем уже принимаем решение что делать с этой трубой: браковать, исправлять или понижать класс точности, или окончательно браковать.

5.2 Рекомендации для процесса прессования труб в условиях ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ»

Согласно технологической инструкции к ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ» уже есть некоторые системы и оборудование автоматизации и метрологического контроля технологического процесса, которые представлены в таблице № 9. В этой главе рассмотрены только те системы и оборудование, которые применяются на трубопрофильном прессе.

Таблица 9. Системы измерения параметров, используемые при прессовании труб в условиях ТПЦ № 2 ОАО «ВТЗ»:

№ п/п	Наименование величины измерения	Тип СИ
1.	Температура заготовок на столе стеклосмазки	Пирометр
2	Геометрические размеры прессового инструмента и труб	Штангенциркуль Поверочная линейка Стенкомер Линейка Угольник Уровень рамный Ультразвуковой толщиномер
3	Усилие при прессовании	Преобразователь давления
4	Скорость прессования	Датчик скорости

Окончание таблицы 9

5	Время подпрессовки	Секундомер
6	Температура	Пирометр «IRCON»
7	Температура технологического инструмента	Термометр контактный

Как видно из таблицы 9 для измерения и контроля геометрических параметров труб используются такие инструменты, как штангенциркуль и линейка. Их можно заменить на более современные приборы. Например для измерения внешнего диаметра можно использовать лазерный измеритель диаметра. Для измерения длины трубы можно использовать также специальные дальномеры. Толщину стенки трубы можно измерять уже установленным ультразвуковым толщиномером.

Полученные значения от измерительных систем необходимо собрать, систематизировать и обработать. Для этого следует ввести специальную компьютерную систему.

В настоящее время существуют несколько различных компьютерных систем автоматизации. Одним из таких, например, являются системы SCADA [41, 42]. Данные системы способны выполнять следующие функции:

- Сбор данных от датчиков и представление их оператору в удобном для него виде, включая графики изменения параметров во времени;
- Дистанционное управление исполнительными механизмами;
- Ввод заданий алгоритмам автоматического управления;
- Реализация алгоритмов автоматического контроля и управления (чаще эти задачи возлагаются на контроллеры, но SCADA-системы тоже способны их решать);
- Распознавание аварийных ситуаций и информирование оператора о состоянии процесса;
- Формирование отчетности о ходе процесса и выработке продукции.

Использование системы типа SKADA позволит сократить время, требуемое для снятия показаний датчиков, т.к. показания будут отслеживаться в режиме реального времени, что помимо упрощения работы сотрудников цеха позволит максимально быстро реагировать на нештатные ситуации. Недостатком SCADA-систем является отсутствие функций управления, т. е. в нештатной ситуации она сможет предупредить о ней оператора, но не сможет остановить трубопрофильный пресс или изменить какие-либо параметры работы прессы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана технология производства труб из стали 20Х13 диаметром 32 мм с толщиной стенки 2,0 мм с производительностью 20 тысяч тонн в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ланская, К.А. Высокохромистые жаропрочные стали / К.А. Ланская М., «Металлургия», 1976. 216 с.
2. Сталь марки 20Х13. –
http://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stn/20X13
3. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд, доп. и испр. / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей редакцией А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.: илл.
4. Сорокин, В.Г. Стали и сплавы. Марочник. справ. изд. / В.Г. Сорокин и др.: Науч. С77 ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев – М.: «Интермет Инжиниринг». 2001. – 608 с.: ил.
5. Шлямнев, А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справ. Изд. / А.П. Шлямнев и др. – М.: «Интермет Инжиниринг». 2000. – 232 с.
6. ГОСТ 5632-2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки
7. Марочник сталей и сплавов / под ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 639 с.
8. Гудков, С. И. Механические свойства стали при низких температурах: Справочник./ С. И. Гудков – М.: Metallurgy, 1967. 267 с.
9. Йех, Я. Термическая обработка стали: Справочник. 3-е изд., испр и доп. / Пер с чешс. / Под ред. Ю. Г. Андреева и В. Б. Фридман. – М.: Metallurgy, 1979 – 264 с.
10. Третьяков, А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. А.В. Третьяков, В.И. Зюзин 2-е изд. М., «Металлургия», 1973, 224с.
11. Фридрихсен, В.К. Прокатное производство. В.К. Фридрихсен, Палмина К.Б., А.В. Третьяков

12. Осадчий, В.Я. Технология и оборудование трубного производства: Учебник для вузов / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов - М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. - 608 с.

13. Орлов, Г. А. Холодная прокатка и волочение труб: учебное пособие / Г. А. Орлов. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 188 с.

14. Логинов, Ю. Н. Прессование как метод интенсивной деформации металлов и сплавов : учеб. пособие / Ю. Н. Логинов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 156 с

15. Баузер, М., Прессование. М. Баузер, Г. Зауер, К. Зигерт М. : АЛЮСИЛ МВиТ, 2009. 918 с.

16. ГОСТ 56594-2015. Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой высоколегированной стали.

17. ГОСТ 9940-81. Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали

18. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.

19. ГОСТ 8734-87. Трубы стальные бесшовные и холоднодеформированные.

20. ГОСТ 9941-81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионностойкой стали.

21. Официальный сайт ОАО «ЭЗТМ»

<http://www.eztm.ru/>

22. ТУ 14-1-4992-2003. Заготовка трубная непрерывнолитая круглого сечения для изготовления горячекатаных бесшовных труб.

23. ТУ 14-1-565-84. Заготовка трубная из высоколегированных, коррозионностойких, жаростойких, и жаропрочных сталей.

24. ГОСТ 2590-88. Прокат стальной горячекатаный круглый.

25. Выдрин, А.В. Технологии и оборудование для изготовления горячепрессованных труб: учебное пособие для самостоятельной работы /

А.В. Выдрин, Я.И. Космацкий, Е.В. Храмков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 106с.

26. Технологическая инструкция. Производство труб на прессовой линии 20 МН в ТПЦ-2. ОАО «Волжский трубный завод»: ТИ 04.1.02 / сост. И.В. Неклюдов, В.Г. Егоренко. – Волжский: Изд-во ВТЗ, 2013. – 120 с.

27. Официальный сайт ОАО «Волжский трубный завод»: vtz.tmk-group.ru.

28. Битюков, С.М., Температурные условия прессования труб из стали 20Х13 / Битюков С.М., Моисеев А.Г. (ОАО «ВТЗ»), Битюков С.М., Баричко Б.В., Комаров А.С. (ОАО «РосНИТИ»), доклад на форуме «Трубы» 2007 г.

29. Дубинский, Ф.С. Энергосиловые параметры процесса прокатки на станах сортового передела: учебное пособие / Ф.С. Дубинский, А.В. Выдрин, В.И. Крайнов, А.В. Шаламов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 30 с

30. Космацкий, Я.И. Конструирование прессового инструмента: монография / Я.И. Космацкий, Б.В. Баричко, Н.В. Фокин, А.М. Зубков. – Челябинск: издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 211 с.

31. Смолянов Г.А. Производство фасонных труб // Сборник исследовательских работ завода «Красный Выборжец». – Л.-М.: ГОНТИ НКТП, 1938. – с. 38-55.

32. Манегин, Ю.В. Горячее прессование труб и профилей /Ю.В. Манегин, А.Е. Притоманов, Т. Шпиттель и др. // М.: Metallurgia, 1980. – 272 с.

33. Гуляев, Г.И. Прессование стальных труб и профилей / Г.И. Гуляев, А.Е. Притоманов, О.П. Дробыч и др. // М.: Metallurgia, 1973. 192 с.

34. Шевакин, Ю.Ф., Прессование тяжелых металлов и сплавов. / Ю.Ф. Шевакин, Л.М. Грабарник, А.А. Нагайцев. М.: Metallurgia, 1987. 246 с.

35. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов. 2-е изд. / И.Л. Перлин, Л. Х. Райтбарг, М., «Metallurgia», 448 с.

36. Прессование металлов. Изд. 2-е испр и допол. / В.В. Жолобов, Г.И. Зверев. Изд-во «Metallurgia», 1971, 456 с.

37. Манегин, Ю.В. Стеклопленки и защитные покрытия для горячей обработки металлов / Ю.В. Манегин, И.В. Анисимова. – М.: Металлургия, 1978. – 224 с.

38. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Шевакин Ю.Ф., М.: Металлургиздат, 1963. 269 с.

39. Орлов, Г.А. Основы теории прокатки и волочения труб : учебное пособие / Г.А. Орлов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 204 с.

40. Восканьянц А.А. Автоматизированное управление процессами прокатки: Учеб. Пособие / А.А. Восканьянц; Московский гос. Тех. Ун-т им. Н.Э. Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – 85 с.

41. Автоматизация металлургических производств. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. А. Осипова, Т. В. Астахова, А. А. Дружинина, И. И. Лапаев. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Автоматизация металлургических производств : УМКД № 218-2007 / рук. творч. коллектива Т. В. Астахова).