

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.

*Совершенствование технологии горячей прокатки нержавеющей листа
в условиях стана 1700 ПАО «ЧМК»*

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА**

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 100 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер
_____ к.т.н., доцент

Радионова Людмила В.
_____ 2020 г.

Руководитель работы
_____ к.т.н., доцент

Радионова Людмила В.
_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-438

*Шадимахматов Джурамах-
мад Алишерович*
_____ 2020 г.

Челябинск
2020

Аннотация

Шадимахматов Д. А Совершенствование технологии горячей нержавеющей листа в условиях стана 1700
ПАО «ЧМК» - Челябинск: ЮУрГУ,
П-438, 44с., 7 ил., 19 табл., библиогр.
список – 10 наим.

Совершенствование технологии горячей прокатки нержавеющей листа в условиях стана 1700 ПАО «Челябинский металлургический комбинат».

В выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции в развитии технологии производства горячекатанного листа, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 1700 ПАО «ЧМК», выбрана технологическая схема производства от заготовки до готовой продукции. Также выполнен расчет энергосиловых параметров процесса прокатки, разработана программа мероприятий, направленных на снижение разнотолщинности листового проката.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1.1. Требования, предъявляемые к нержавеющей горячекатаному листу.....	5
1.2. Технические и технологические особенности стана 1700 ПАО «ЧМК»..	12
1.3. Оценка энергосиловых параметров процесса прокатки листа из нержавеющей марок стали.....	21
1.4 Разработка мероприятий, направленных на снижение разнотолщинности листового проката.....	33
Заключение.....	43
Библиографический список.....	44

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире эксплуатируется более ста пятидесяти широкополосных станов горячей прокатки. Поддержание конкурентоспособности продукции данных станов вызывает необходимость их постоянного усовершенствования с целью повышения качества выпускаемой продукции (по точности размеров, механическим свойствам и состоянию поверхности), расширения размерного и марочного сортамента, снижения производственных затрат, и в редких случаях, повышения производительности. В связи с этим, целью данной дипломной работы является совершенствование технологии горячей прокатки нержавеющей стали в условиях стана 1700 ПАО «Челябинский металлургический комбинат». Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Требования, предъявляемые к нержавеющей горячекатаному листу.
- Технические и технологические особенности стана 1700 ПАО «ЧМК».
- Оценка энергосиловых параметров процесса прокатки листа из нержавеющей марки стали.
- Разработка мероприятий, направленных на снижение разнотолщинности листового проката.

1.1 Требования, предъявляемые к нержавеющей горячекатаному листу.

Коррозионноустойчивый горячекатаный лист – является одним из самых востребованных видов металлопроката, который за счет своих характеристик и особенностей широко используется в различных отраслях промышленности. Зачастую, его используют в качестве заготовок для изготовления различной продукции.

Таблица 1.1 – Требования, предъявляемые к нержавеющей горячекатаному листу 08X18H10.

Вид	Размер, мм			Марка стали	Стандарт (ГОСТ)	Качество поверхности	Механические свойства
	Толщина	ширина	длина				
Лист	4.0-6,0	600-1550	2000-6000	08X18H10	ГОСТ 7350-77	M26-M56: ГОСТ 7350-77	ГОСТ 7350-77

Для данной марки стали 08X18H10 существуют требования (таблица 1) для размера толщины, ширины, длины листа согласно ГОСТ. Класс данной стали коррозионноустойчивая жаропрочная.

Сталь относится по состоянию материала и качеству поверхности к группе:

Горячекатаная термически обработанная, травленая или после светлого отжига - M26-M56.

Закалка согласно ГОСТу 7350-77 осуществляется при температуре 1000-1120 °С (вода или воздух)

Согласно ГОСТу 7350-77 допускаются следующие дефекты поверхности: Рябизна, царапины, забоины, отпечатки, риски, раскатанные отпечатки и раковины.

Коррозионная стойкость данной стали испытана в трех средах:

1. Вода (пар) при температуре 600 °С глубина коррозии составила 0,1 мм/год
2. Морская вода при температуре 20 °С глубина коррозии составила 0,1 мм/год
3. 5% раствор H_2SO_4 при температуре 20 °С глубина коррозии составила 0,6 мм/год

Требования для механических свойств согласно ГОСТ 7350-77:

Временное сопротивление разрыву, $\sigma_B=510$ МПа;

Предел кратковременной прочности, $S_T=205$ МПа;

Относительное удлинение при разрыве, $\delta_5 = 43\%$;

Механические свойства стали согласно ГОСТ 7350-77 при повышенных температурах

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 08X18H10 при повышенных температурах

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ_5 , %	Относительное сужение, ψ , %
Закалка при 1060-1120 °С, вода				
20	210	570	60	70
400	110	410	46	69
480	98	380	45	69
540	96	360	44	70
600	82	330	39	58
650	76	290	37	44
700	74	235	35	36
750	73	185	31	28
800	69	150	30	18

Механические свойства при испытаниях на длительную прочность:

1. Температура испытания 704 °С, предел ползучести равен 39 МПа, длительность испытания 10000 часов.

2. Температура испытания 815 °С, предел ползучести равен 18 МПа, длительность испытания 10000 часов.

Основные свойства нержавеющей стали 08X18H10, это высокая сопротивляемость коррозии и жаропрочность. Изделия и конструкции из неё способны работать без потери своих эксплуатационных характеристик в условиях температурного режима от -196°С до +600°С.

Таблица 1.3 – Химический состав в % стали 08X18H10.

Химический состав в % стали 08X18H10:	
C	до 0,08
Si	до 0,8
Mn	до 0,2
Ni	9-11
S	до 0,02
P	до 0,035
Cr	17-19
Ti	до 0,5
Cu	до 0,3
Fe	~69

Свойства и химический состав стали 08X18H10, обеспечили ее широкое применение практически во всех отраслях промышленности. Из листа 08X18H10 изготавливают контейнеры, баки, резервуары, емкости в пищевой отрасли. Из них также целесообразно изготавливать камеры различного оборудования, металлическую мебель, отделять стенки эскалаторов, лифтов. Жаропрочность 08X18H10 позволяет ее использовать для изготовления элементов печей, запорной трубопроводной арматуры (фитинги, отводы, фланцы), емкостей и аппаратов для химической промышленности.

Так же выберем ещё 4 марки нержавеющей стали, для расчета деформации и усилия при прокатки на 1700 стане выбраны марки: 08X18H10, 08X13, 08X18H10T, 15X25T, 30X13.

Данные требуемые для стали 08X18H10:

Таблица 1.4 – Механические свойства стали 08X18H10.

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ_5 , %	Относительное сужение, ψ , %
Закалка при 1000-1120 °С, вода				
20	210	570	60	70

Таблица 1.5 – Химический состав в % стали 08X18H10.

Основной элемент в нержавеющей стали – углерод, но в данной стали его процентное содержание снижено. Зато в сталь введены такие важные легирующие добавки, как кремний (0,8%), Марганец (до 2,0%), никель (9,0–11,0%), титан (до 0,5%) и хром (17–19%).

Полный химический состав 08X18H10

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	W	Fe
<0,08	<0,8	<2,0	<0,035	<0,02	17,0-19,0	<0,3	9,0-11,0	<0,2	<0,5	<0,3	<0,2	Остальное

Данные требуемые для стали 08X13:

Таблица 1.6 – Механические свойства стали 08X13.

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ_5 , %	Относительное сужение, ψ , %	Ударная вязкость КСУ при 20°С, Дж/см ²
Лист сечением 20 мм. Закалка при 1000-1020 °С, вода. Отпуск при 680-700 °С, охлаждение 12 часов, воздух. При 20 °С НВ 148-156					
20	275 - 350	460 - 510	25 - 37	73 - 80	235 - 323

Таблица 1.7 – Химический состав в % стали 08X13.

Расшифровка 08X13: «08» – содержание в сплаве углерода до 0,08%. «X13» – наличие хрома в количестве около 13%.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	W	Fe
<0,08	<0,8	<0,8	<0,03	<0,025	12,0-14,0	<0,3	<0,6	<0,2	<0,2	<0,3	<0,2	Остальное

Безникелевая сталь **08X13** содержит углерода не более 0,08%, и хрома – 13%.

Данные требуемые для стали 08X18H10T:

Таблица 1.8 – Механические свойства стали 08X18H10T.

Температура испытаний, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ_5 , %	Относительное сужение, ψ , %	Ударная вязкость КСU при 20°С, Дж/см ²
20	275	610	41	63	245

Таблица 1.9 – Химический состав в % стали 08X18H10T.

Расшифровка: «08» указывает на содержание углерода до 0,08 %, «X18» – показатель введения в сплав хрома в количестве 18 %, «H10» – определяет содержание никеля до 10%, буква «Т» в конце маркировки – содержание титана в количестве до 1,0%. Расшифровка 08X18H10T полностью раскрывает основные показатели стали.

Химический состав в % стали 08X18H10T

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	W	Fe
<0,08	<0,8	<2,0	<0,035	<0,02	17,0-19,0	<0,3	9,0-11,0	<0,2	<0,7	<0,4	<0,2	Остальное

Данные требуемые для стали 15X25T:

Таблица 1.10 – Механические свойства стали 15X25T.

Механические свойства стали 15X25T при T=20°С				
σ_B (МПа)	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСU (кДж / м ²)
430	215	12	45	200

Таблица 1.11 – Химический состав в % стали 15X25T.

C	до 0,15
Si	до 1
Mn	до 0,8
S	до 0,025
P	до 0,035
Cr	24 - 27
Fe	~69

Данные требуемые для стали 30X13:

Таблица 1.12 – Механические свойства стали 30X13.

Температура испытаний, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / м ²)
20	700	940	16	52	54

Прокат. Нормализация 1000 °С, воздух. Отпуск 650 °С, 2 - 3 ч

Таблица 1.13 – Химический состав в % стали 30X13.

C	0,26 - 0,35
Si	до 0,8
Mn	до 0,8
Ni	до 0,6
S	до 0,025
P	до 0,03
Cr	12 - 14
Ti	до 0,2
Cu	до 0,3
Fe	~83

Влияние легирующих элементов на сталь:

1. Хром – Увеличивает коррозионную прочность, стойкость, твердость, является основным элементом при создании нержавеющей стали.
2. Никель – Увеличивает вязкость, пластичность стали, коррозионную стойкость.
3. Титан – Уменьшает зернистость внутренней структуры, повышает прочность и плотность, повышает обрабатываемость, коррозионную стойкость.
4. Ванадий – Уменьшает зернистость внутренней структуры, что повышает текучесть, порог прочности на разрыв.
5. Молибден – Обеспечивает возможность улучшить прокаливаемость, снижает хрупкость, повышает коррозионную устойчивость.
6. Вольфрам – Увеличивает твердость, снижает хрупкость при отпуске, не дает зернам расти при нагреве.
7. Кремний – При содержании до 1-15% кремний увеличивает прочность, сохраняя вязкость.

При превышении процентного содержания кремния повышается магнитопроницаемость и электросопротивление. Также данный элемент увеличивает упругость, сопротивляемость к окислению, стойкость к коррозии, но также повышает хрупкость.

8. Кобальт – Увеличивает ударопрочность и жаропрочность.

9. Углерод – Очень сильно влияет на свойства стали. Если он содержится до 1,2%, то углерод повышает твердость, прочности, предела текучести металла. При превышении указанного значения, начинает значительно ухудшаться прочность и пластичность.

10. Марганец – Если количество марганца не превышает 0,8%, то он считается технологической примесью. Он предназначен для повышения степени раскисления, а также противостоит негативному воздействию серы на сталь.

11. Сера – Если содержания серы выше 0,65% механические свойства стали значительно снижаются, речь идет об уменьшении уровня пластичности, коррозионной стойкости, ударной вязкости. Кроме того высокое содержание серы отрицательно сказывается на свариваемости стали.

12. Фосфор – Даже небольшое превышение содержания фосфора выше необходимого уровня чревато повышением хрупкости и текучести, а также снижением пластичности и вязкости стали.

13. Азот и кислород - При превышении определенных количественных значений в составе стали включения данных газов увеличивают хрупкость, а также способствуют понижению ее выносливости и вязкости.

14. Водород - Слишком большое содержание водорода в стали способствует увеличению ее хрупкости.

1.2 Технические и технологические особенности стана 1700 ПАО «ЧМК».

Описание технологического процесса и оборудования 1700 стана начинается с составления схемы расположения оборудования стана с перечнем всех основных механизмов по протеканию технологического процесса. Схема размещения оборудования в цехе стана 2300/1700 ПАО «ЧМК» изображена на рисунке 2.1. Экспликация к схеме расположения оборудования стана 2300/1700 ПАО «ЧМК» расположена в таблиц 2.1.

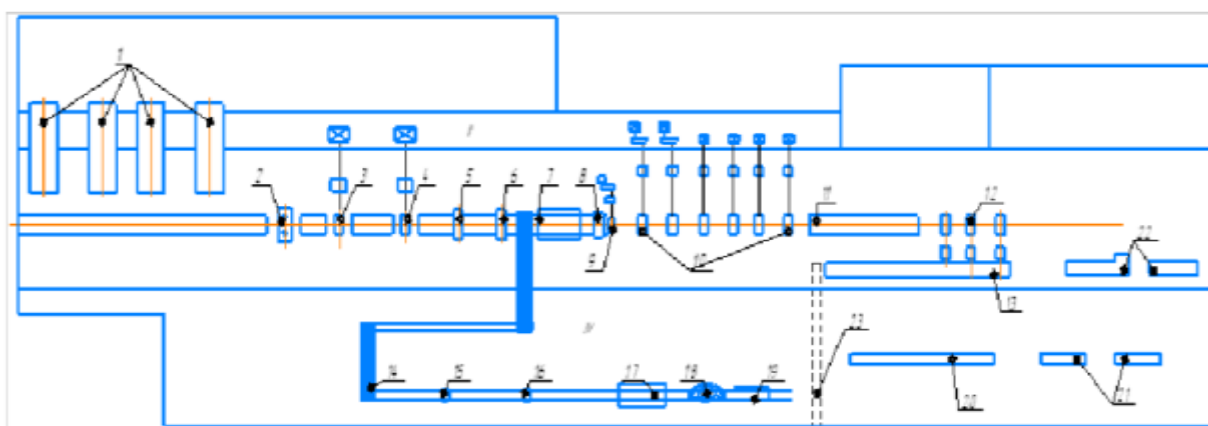


Рисунок 2.1 – Схема расположения оборудования стана 2300/1700

Таблица 2.1 – Экспликация к схеме расположения оборудования стана 1700

Позиция	Наименование
1	Печи нагревательные
2	Окалиноломатель вертикальный
3	Клеть дуо черновая уширительная
4	Клеть кварто универсальная
5	Ножницы горячей резки
6	Машина передвижная роликовая правильная
7	Печь подогревательная роликовая
8	Ножницы летучие для обрезки концов полосы
9	Окалиноломатель дуо чистовой
10	Клети кварто чистовые непрерывной группы
11	Рольганг отводящий
12	Моталки
13	Транспортер рулонов и моталок
14	Транспортеры-холодильники толстых листов

Продолжение таблицы 2.1

16	Ножницы поперечной резки
17	Листоукладчик
18	Ножницы гильотинные с полем «гусиных» шеек
19	Стеллаж
20	Агрегат термообработки листов
21	Машины травильные
22	Агрегаты резки
23	Транспортер подъемный горячих рулонов в цех холодной прокатки

Стан, построенный в 1963 году и расположенный в четырех пролетах, и состоит из реверсивной клетки 2300 и непрерывной группы 1700, предназначен для прокатки листов толщиной 6-20 мм, шириной 600-2000 мм на клетки 2300. А листы толщиной 2-6 мм, шириной до 1550 мм на непрерывной группе 1700 из углеродистых низколегированных, легированных и коррозионностойких сталей, а также двухслойных листов.

Начальная заготовка представляет собой сляб размером (90-190)×(600-1090) мм.

Размеры слябов из коррозионностойких сталей составляют (115-180)×(600-1500) мм, а заготовок для прокатки двухслойной стали – (160-240)×(640-1170) мм.

Длина заготовок 1600-2000 мм для стана 2300, 2000-5000 для стана 1700.

На железнодорожных вагонах слябы поступают в цех и хранятся в соответствии с марками и размерами стали. Газокислородными резаками зачищают слябы из углеродистых и низколегированных сталей на стеллажах зачистки. На механизированных наждачных станках ХШ 7-10 и А-1459 зачищают легированных и коррозионностойкие стали. Склад обслуживается мостовыми кранами грузоподъемностью: 8, 15-3 и 50/10т.

Подготовленные слябы кранами подают на подъемно-опускающиеся столы нагревательных печей 1.

Со столов слябы четырьмя сталкивателями сталкиваются при усиллии 29 кН и при максимальном ходе 2,55 м и рабочем 2,1 м по одному на загрузочный рольганг.

Нагрев всех слябов происходит в четырех четырехзонных методических печах с шириной в свету 5,0 м и длинной пода 2,45 м, с нижним подогревом, торцевой нагрузкой и выдачей. Температура нагрева металла около 1200 °С.

Через нагревательную печь слябы передвигают со скоростью 0,2 м/с сдвоенным толкателем на две штанги при рабочем ходе 2,0 м, максимальном 3,5 м. В каждой зоне – по пять (всего 20) инжекционных горелок с давлением газа 200 кПа. Воздух нагревается в керамических рекуператорах до 450-500 °С. В трубчатых рекуператорах газ нагревается до температуры 200-250 °С. Посад в печи холодный.

Для высокотемпературного нагрева стали имеются четыре двухзонные толкательные печи с машиной безударной выдачи. С периодическим режимом работы.

Печи нагреваются природным газом их теплотворная способность 200 кДж (пять горелок в первой зоне семь во второй). Тип горелок – труба в трубе.

Слябы транспортируются между транспортными рольгангами методических и высокотемпературных печей при помощи граблевого подъема. Механизм подъема траверзы приводится от электродвигателя постоянного тока Д-810, механизм перемещения тележки – от двигателя постоянного тока Д-808.

При помощи сдвоенного толкателя слябы задают и проталкивают через печь, приводимых от двух электродвигателей постоянного тока Д-812. Нагретые слябы передаются из печи на рольганг стана специальным подъемным устройством.

Промежуточный подогрев подкатов перед прокаткой на чистовой непрерывной линии, осуществляется в шестизонной роликовой проходной печи.

Ролики охлаждаются водой. 58 инжекционных горелок установлено сверху и снизу проходящей полосы. Воздух разогревается до 400 °С в металлических трубчатых рекуператорах. При посадке в печь подкаты имеют температуру 900 °С и разогреваются до 1100 °С, а из нержавеющей сталей – до 1160 °С. Пролет печей обслуживается 10-т мостовыми кранами.

Стан полосовой полунепрерывный имеет две линии: 2300 и 1700 Нагретые слябы по рольгангу поступают в черновой вертикальный нереверсивный двухвалковый окалиноломатель для обжатия боковых кромок сляба и скалывания окалины. За окалиноломателем установлен гидросбив.

Рольганг оборудован направляющими передвижными линейками реечного типа с приводом электродвигателя. Станина окалиноломателя литая, стальная.

В уширительной реверсивной двухвалковой клетки 3 происходит разбивка ширины сляба до необходимой ширины раската и получения подката для универсальной клетки. Толщина подката должна быть не менее двухкратной толщины листа.

Температура металла: составляет перед универсальной клетью 1100-1200°С, начала прокатки > 1050-1020 °С, конца прокатки 800-950 °С в зависимости от толщины прокатываемых листов и стали. Станины универсальной клетки закрытого типа из стали ЗЛ-Ш.

Диаметр рабочих валков 980-1100 мм, длина 2300 мм, материал – сталь 60ХН, масса валка 26 т. Максимальный подъем верхнего валка 47 см, скорость 2-40 см/с. Вкладыши подушек рабочих валков текстолитовые.

Диаметр нажимного винта 48 см, шаг нарезки 48 мм, смазка циркуляционная жидкая.

Шпиндельное устройство универсальное. Материал шпинделей – сталь 40Х, угол наклона – 0,033 рад.

Шестеренная клеть двухвалковая. Диаметр начальной окружности 1100 мм.

Перед уширительной клетью для поворота слябов при разбивке ширины установлен рольганг с восемью коническими роликами. Диаметр бочки роликов 400/320 мм, длина 3090 мм, шаг роликов 340 мм.

Манипуляторные линейки перед уширительной клетью предназначены для перемещения и установки раската по оси прокатки. Максимальная масса устанавливаемых заготовок 5,5 т, скорость движения линеек 0,6; м/с, максимальный раствор 3,4 м, минимальный 0,9 м. Привод манипулятора гидравлический.

Универсальная клеть 2300 предназначена для прокатки подката толщиной 40-45 мм в листы толщиной 6-20 мм или подката для линии 1700 толщиной 18 мм и содержит вертикальные и горизонтальные валки.

Диаметр вертикальных рабочих валков 550-600 мм, длина бочки 250 мм, материал сталь 45; подшипник качения конические; привод от 200/300 кВт электродвигателя постоянного тока МПВ 42,3/78 (500/1000 об/мин).

Горизонтальные валки собраны в четырехвалковую реверсивную клеть. Диаметр бочки рабочих валков 700-750 мм, длина 2300 мм, материал – легированный двухслойный чугун; подшипники четырехрядные, роликовые конические. Диаметр бочки опорных валков 1300-1400 мм, длина 2300 мм, материал – сталь 90ХФ или 60 ХН, подшипники четырехрядные роликовые конические. Максимальный рабочий раствор валков 200 мм, минимальный – 100 мм. Диаметр нажимного винта 520 мм, шаг упорной резьбы 24 мм, уравновешивание верхнего валка гидравлическое (давление в цилиндре 9,8 МПа). Станина клетки закрытого типа из стали ЗЛ-III. Привод клетки электродвигателя постоянного тока ПБК 250/145-2 (70/120 об/мин).

Шпиндельное устройство универсальное, материал шпинделей сталь

34ХНЗМ, диаметр тела шпинделей 36 см; длина по осям шарниров 3,8 м, максимальный угол наклона 3°. Уравновешивание шпинделей: нижнего – пружинное, верхнего – гидравлическое.

С помощью перевалочных тележек осуществляют перевалку клетки. Рабочие валки, также валки окалиноломателей меняют при помощи ребристых муфт одним мостовым краном грузоподъемностью 980 кН.

Технологический процесс после универсальной клетки делится на два потока: производство листов и рулонов.

В первом потоке листы, прокатанные на универсальной клетки до необходимой толщины подаются рольгангами к гильотинным ножницам и дальше – к правильной машине горячей правки.

Гильотинными ножницами горячей резки удаляют передний и задний концы листа размерами (4-20)×(600-2100) мм. Усилие резания 1176 кН, длина режущей кромки ножа 2300 мм, число резов в минуту 16, наибольшее раскрытие ножей 95мм, температура горячей резки > 700 °С. Ножницы оборудованы гидросбрасывателем обрезков.

Рольганг перед ножницами снабжен раздвижными линейками. Максимальный раствор линеек 240 см, минимальный 75 см.

Семироликовая передвижная правильная машина: толщина выправляемых листов 4-35 мм, температура $\geq 700^{\circ}\text{C}$, диаметр роликов 300 мм, длина – 2500 мм, привод осуществляется от двух 100 кВт двигателей (584 об/мин).

При дальнейшей прокатке полосы на стане 1700 правильную машину отодвигают и на ее место устанавливают рольганг с индивидуальным приводом роликов. Механизм передвижения правильной машины приводится электродвигателя

За правильной машиной установлены рольганг и опускающийся упор, давление воздуха в цилиндре (0,4-0,5 МПа), диаметр цилиндра 250 мм, ход щита упора 90 мм.

Выправленные листы передаются для охлаждения в зависимости от стали на воздухе – на шлепперах (малоуглеродистые, легированные и нержавеющие стали) и в защищенных от сквозняков штабелях > 24 ч (высокоуглеродистые и инструментальные стали).

Во втором потоке листы из нержавеющей стали поступают в роликовую печь, где нагреваются до 1100-1160 °С.

Нагретая полоса поступает по рольгангу к летучим ножницам, на которых при необходимости обрезают передние и задние концы, после чего подкат передают в чистовую группу стана. Летучие ножницы барабанного типа приводятся электродвигателем, наибольшее разрезаемое сечение (1024)×1550 мм, длина \geq 6800 мм.

Чистовая группа клеток состоит из окалиноломателя с горизонтальными валками и шести четырехвалковых клеток, расположенных последовательно одна за другой. Расстояние между клетями 6 мм. Станины закрытого типа, литые. Рабочий подъем верхнего рабочего валка 90 мм, максимальный подъем верхнего рабочего валка при перевалке 250 мм.

Максимальное усилие металла на валки равно 29,5 МН. Клетки снабжены устройством для перевалки, проводками и петледержателями. Валки клеток №3 и №4 приводятся от главных двигателей через редуктор, остальные – непосредственно от двигателей через шестеренные клетки. Скорость прокатки в последней чистовой клетке \leq 11 м/с.

Шестеренных клетки двухвалковые. У рабочих клеток №3-№5 шестеренные клетки 800, а у рабочих клеток №6-№8 шестеренные клетки 700 Зубьев шестеренных валков 22, угол зацепления 20°.

Рольганг из 161 ролика за чистовой группой делится на три: первый – непосредственно за чистовой группой, второй – промежуточный, на котором полоса охлаждается водой под давлением 1,5 МПа, третий – перед моталками. Перед смоткой в рулоны полосы охлаждают в пятисекционной уста-

новке ламинарного охлаждения. Расстояние от восьмой клетки до первой секции 21 м, от первой секции до второй – 9 м, далее – по 12 м. Расстояние от пятой секции до оси первой моталки 35,88 м. Расход воды 250 м³/ч.

Рольганг перед моталками оборудован раздвижными и направляющими линейками.

Три кольцевые моталки служат для скатывания рулонов. Моталки оборудованы тянущими роликами, барабанами с гидравлическим регулированием диаметра, восемью формующими роликами, пневматическим сталкивателем, кантователем и укладчиком рулонов на приемный конвейер.

Толщина наматываемой полосы 2-10 мм, ширина 600-1550 мм, скорость наматывания 4,5-11 м/с. Масса рулона 5,2 т. Наружный диаметр рулона 850-1300 мм. Диаметр барабана 728-750 мм, длина 2350 мм. Привод барабана от 140 кВт электродвигателя (610 об/мин). Сокращение диаметра барабана осуществляется с помощью гидросистемы (с давлением 1,5 МПа). Диаметр верхнего тянущего ролика 900 мм, нижнего 500 мм, длина роликов 1700 мм, привод – от двух 68 кВт электродвигателей (520 об/мин).

Диаметр формирующих роликов 300 мм, длина бочки 1700 мм, максимальный ход 350 мм. Приводятся только четыре ролика от 16 кВт электродвигателя (1170 об/мин).

Передаточные рольганги установлены между моталками, они оборудованы направляющими линейками со скоростью передвижения 20 мм/с. Привод линеек – от 7,5 кВт электродвигателя (905 об/мин).

Сталкиватель рулонов работает от пневматической системы: диаметр цилиндра 300 мм, ход 2520 мм, время сталкивания одного рулона 5 с.

С моталок рулоны поступают на приемный шаговый конвейер. Размеры передаваемого рулона: наружный диаметр 850-1400 мм, внутренний 700 мм, высота 600-1550 мм, максимальная масса ≤ 8 т. Шаг между рулонами 3,1 м, скорость транспортировки 0,05-0,2 м/с.

Диаметр роликов стеллажа 200 мм, число роликов 150. Транспортным цепным конвейером рулоны транспортируются к поворотному столу.

Общая длина конвейера 83,8 м, секций две, скорость транспортировки 0,05-0,2 м/с. Одновременно на конвейере могут находиться ≤ 14 рулонов.

Привод конвейер от 16 кВт электродвигателя ДП-41.

1.3 Оценка энергосиловых параметров процесса прокатки листа из нержавеющей марок стали.

Вспользуемся методом расчета обжатий по коэффициентам высотной деформации для выбора режимов деформации. Коэффициенты высотной деформации уменьшаются по ходу прокатки, что обусловлено потерей металла пластичности, уменьшением толщины полосы. Высоту сляба примем H , обжатие в первом проходе принимаем Δh_1 , высоту поперечного профиля примем h , обжатие в последнем проходе примем Δh_n , отсюда коэффициенты высотной деформации получаются:

$$k_1 = H / (H - \Delta h_1); \quad (1)$$

$$k_n = h_{n-1} / h_n = h_{n-1} / (h_{n-1} - \Delta h_n); \quad (2)$$

Общий вид коэффициентов высотной деформации:

$$k = H / h = (H - \Delta h); \quad (3)$$

Из уравнения (3) определим обжатие после прохода:

$$\Delta h = H \left(1 - \frac{1}{k} \right); \quad (4)$$

Прокатные валки стана 1700 имеют параметры (мм):

Черновая клеть:

Бочка:

длина.....1700

диаметр.....900

Шейка:

длина.....450

диаметр.....420

Чистовая клеть:

Бочка опорных валков:

длина.....1700

диаметр.....1400

Бочка рабочих валков:

длина.....1700

диаметр.....700

Для расчета примем сляб размером: 150x1500x5000мм.

Теперь мы определим максимальное обжатие, исходя из прочности валков (сталь 60ХН).

Расчитаем максимальное усилие:

$$P = \frac{0,4 D^3 \sigma}{L+l-0,5B} ; \quad (5)$$

где:

D – диаметр рабочих валков

σ – допускаемое напряжение на изгиб

L – длина бочки валка

l – длина шейки валка

При прокатке вдоль раската ширина $B = 1500$ мм. Среднее удельное давление равно $10 \text{ кгс/мм}^2 = 100 \text{ МПа}$. Отсюда максимальное обжатие при рассчитанном давлении составит:

$$\Delta h_{\max} = \frac{P^2}{p_{\text{ср}}^2 B^2 R} ; \quad (6)$$

Обжатие на черновой клетки стана происходит от 150 до 21мм. Общее обжатие:

$$\Delta h_{\text{общ}} = H_1 - H_2 ; \quad (7)$$

Допускаемая величина обжатия Δh_{\max} , отсюда рассчитаем число проходов:

$$n = \Delta h_{\text{общ}} / \Delta h_{\max} ; \quad (8)$$

Конечное число проходов примем $n = 5$.

Отсюда величина среднего обжатия составит:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \Delta h_{\text{общ}} / n ; \quad (9)$$

Найдем среднее значение коэффициентов высотной деформации.

$$k_{\text{ср}} = \sqrt[5]{H/h} ; \quad (10)$$

Коэффициент высотной деформации для прохода 1:

$$k_1 = H / (H - \Delta h_{\max}) ; \quad (11)$$

Как видно, $k_1 > k_{\text{ср}}$, отношение коэффициентов составляет:

$$k_1 / k_{\text{ср}} ; \quad (12)$$

Это означает, что в последнем проходе средний коэффициент высотной деформации необходимо уменьшить в “х” раз :

$$k_5 = k_{\text{ср}} / x ; \quad (13)$$

Исходя из вышеперечисленных формул мы рассчитаем обжатия по проходам:

$$1\text{-й проход: } H, \Delta h_1, h_1, k_1 ; \quad (14)$$

$$2\text{-й проход: } k_2, h_2 = h_1 / k_2, \Delta h_2 = h_1 - h_2 ;$$

$$3\text{-й проход: } k_3, h_3 = h_2 / k_3, \Delta h_3 = h_2 - h_3 ;$$

$$4\text{-й проход: } k_4, h_4 = h_3 / k_4, \Delta h_4 = h_3 - h_4 ;$$

$$5\text{-й проход: } k_5, h_5 = h_4 / k_5, \Delta h_5 = h_4 - h_5 ;$$

Составим математическую модель и рассчитаем:

Расчет обжатий на чистой клетке проведем аналогично.

Максимальное усилие будет равно:

$$P = \frac{0,4 D^3 \sigma}{L + l - 0,5B} ;$$

Обжатие на чистой клетке стана происходит от 21 мм до 6 мм. Общее обжатие составит:

$$\Delta h_{\text{общ}} ;$$

Отсюда число проходов:

$$n = \Delta h_{\text{общ}} / \Delta h_{\text{max}} ;$$

Конечное число проходов будет равно: $n = 5$.

Из этого следует, что величина среднего обжатия за проход будет равна:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \Delta h_{\text{общ}} / n ;$$

Определим среднее значение коэффициентов высотной деформации:

$$k_{cp} = \sqrt[5]{H/h} ;$$

Коэффициент высотной деформации для прохода 1:

$$k_1 = H / (H - \Delta h_{max}) ;$$

Как видно, $k_1 > k_{cp}$, отношение коэффициентов составляет:

$$k_1 / k_{cp} ;$$

Это означает, что в последнем проходе средний коэффициент высотной деформации необходимо уменьшить в “у” раз :

$$k_5 = k_{cp} / y ;$$

Теперь мы рассчитаем обжатия по проходам:

1-й проход: $H, \Delta h_1, h_1, k_1$;

2-й проход: $k_2, h_2 = h_1 / k_2, \Delta h_2 = h_1 - h_2$;

3-й проход: $k_3, h_3 = h_2 / k_3, \Delta h_3 = h_2 - h_3$;

4-й проход: $k_4, h_4 = h_3 / k_4, \Delta h_4 = h_3 - h_4$;

5-й проход: $k_5, h_5 = h_4 / k_5, \Delta h_5 = h_4 - h_5$;

Составим математическую модель и рассчитаем.

Расчет энергосиловых параметров процесса прокатки сводится к определению сопротивления деформации, удельному и полному усилию прокатки.

Коэффициент трения при прокатке найдем по формуле

$$f = K_1 * K_2 * K_3 * (1.05 - 0.0005 * t) ; \quad (15)$$

где K_1 – коэффициент, определяющий состояние поверхности инструмента и его материал (для обточенного стального валка $K_1 = 1,0$); K_2 – коэффициент, определяющий влияние скорости прокатки; K_3 – коэффициент, определяющий влияние химического состава обрабатываемого материала (для углеродистых сталей $K_3 = 1,0$); t – температура прокатки, °C (для стали 08X18H10T – 1000 °C).

Окружную скорость рабочих валков рассчитаем по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot R_p \cdot n_B}{30} ; \quad (16)$$

где R_p – радиус рабочего валка, м;

n_b – частота вращения валков, об/мин.

Коэффициент, определяющий влияние скорости прокатки K_2 , равен

$$K_2 = 0,4 + 0,6 \cdot e^{-0,2(v-2)} ; \quad (17)$$

Коэффициент напряженного состояния определяется по формуле

$$n_\sigma = n_{\sigma'} \cdot n_{\sigma''} \cdot n_{\sigma'''} ; \quad (18)$$

где $n_{\sigma'}$ – коэффициент напряженного состояния, определяющий влияние внешнего трения вдоль дуги захвата на удельное давление;

$n_{\sigma''}$ – коэффициент напряженного состояния, определяющий влияние неравномерности деформации по высоте раската на удельное давление;

$n_{\sigma'''}$ – коэффициент напряженного состояния, определяющий влияние натяжения концов полосы на удельное давление ($n_{\sigma'''} = 1$, так как прокатка осуществляется без натяжения).

Коэффициенты $n_{\sigma'}$ и $n_{\sigma''}$ напрямую зависят от фактора формы $m = l / h_c$, где l – длина очага деформации, h_c – средняя высота в очаге деформации.

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1) * R_b} ; \quad (19)$$

$$h_c = \frac{h_0 + h_1}{2} ; \quad (20)$$

где h_0 – высота полосы на входе в очаг деформации,

h_1 – высота полосы на выходе из очага деформации,

R_b – радиус валка.

Так как по расчетам фактор формы находится в пределах $2 < m < 4$, то $n_{\sigma'}$ определим по формуле:

$$n_{\sigma'} = 0,75 + 0,25 \frac{l}{h_c} ; \quad (21)$$

Коэффициент $n_{\sigma''} = 1$, так как фактор формы $m > 1$

Коэффициент Лодэ β находится в зависимости от соотношения b_c / h_c и коэффициента трения f .

Средняя ширина полосы b_c в очаге деформации

$$b_c = \frac{b_0 + b_1}{2} ; \quad (22)$$

Так как по расчетам $b_c / h_c > 0,465 / f$, то $\beta = 1,155$

Среднее сопротивление деформации для сталей 08X18H10, 08X13, 08X18H10T, 15X25T, 30X13 σ_{SC} при горячей прокатке в каждом проходе рассчитаем по формуле:

$$\sigma_{SC} = K_B \cdot K_0 \cdot U_c^{K_U} \cdot (10 \cdot \varepsilon_c)^{K_\varepsilon} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{-K_t} ; \quad (23)$$

где K_0 – базовое сопротивление деформации

U_c – средняя скорость деформации.

$$U_c = 0.105 \cdot n_B \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot \frac{R_B}{h_0}} ; \quad (24)$$

где ε – степень деформации ($\varepsilon = 1 - h_1 / h_0$);

ε_c – средняя степень деформации ($\varepsilon_c = 2/3 \varepsilon$);

Усилие прокатки рассчитаем по формуле:

$$P = p_c \cdot F_r ; \quad (25)$$

где p_c – среднее удельное давление, МПа,

F_r – горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками.

Среднее удельное давление:

$$p_c = \beta \cdot n_\sigma \cdot \sigma_{SC} ; \quad (26)$$

При прокатке прямоугольной полосы на гладкой бочке горизонтальная проекция будет равна:

$$F_r = \frac{b_0 \cdot b_1}{2} \cdot \sqrt{(h_0 + h_1) R_B} ; \quad (27)$$

Исходя из данных вычислений, мы получили толстолистовой лист толщиной:

$h_5 = 4$ мм.

Аналогично произведем расчеты для получения готовых листов толщинами: $h = 5$ мм и $h = 6$ мм

Таблицы с результатами расчетов энергосиловых параметров прокатки:

Таблица 3.1 – Энергосиловые параметры прокатки для стали 08X18H10.

	Раскат слэба					0 проход	1 проход				
	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход		1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход
5 мм	63,97	37,41242938	19,14055812	10,2005991	5,596474818	5,59	4,13	3,51	2,88	1,90	1,36
Коэффициент высотной деформации	1,89	1,77	1,65	1,53	1,41	1,41	1,38	1,35	1,32	1,30	1,272597074
Толщина заготовки h0, мм	86	48,58757062	29,4470125	19,2484134	13,64893858	20,35366143	14,78	10,94	8,26	6,37	5,09
Степень деформации, ε							0,274047187	0,259528131	0,244718893	0,229613067	0,214205328
Средняя степень деформации, εс							0,182698125	0,173018754	0,163145796	0,153075378	0,142803552
Средняя скорость деформации, Uс, с-1							0,036038995	0,042298042	0,049155967	0,056561625	0,064441795
Среднее сопротивление деформации, σSC							83,39303999	84,29579592	85,04220396	85,61912995	86,01161076
Длина очага деформации, l							38,80751458	32,17729786	26,88717899	22,63415582	19,18825882
Коэффициент напряженного состояния							1,406606079	1,485241609	1,563423888	1,638847312	1,708935448
Среднее удельное давление							135,4828359	144,5054108	151,5853983	162,0657845	169,7714756
Средняя ширина полосы							1500	1500	1500	1500	1500
Горизонтальная проекция площади контакта полосы с вальсами							168586,3347	161363,94	139444,2566	121707,0482	107288,1732
Удельные прокатки, МН							25,55156626	23,33409683	21,41360875	19,72454822	18,21444718

Таблица 3.2 – Энергосиловые параметры прокатки для стали 08X18H10T.

	Раскат слэба					0 проход	1 проход				
	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход		1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход
5 мм	63,97	37,41242938	19,14055812	10,2005991	5,596474818	5,59	4,13	3,51	2,88	1,90	1,36
Коэффициент высотной деформации	1,89	1,77	1,65	1,53	1,41	1,41	1,38	1,35	1,32	1,30	1,272597074
Толщина заготовки h0, мм	86	48,58757062	29,4470125	19,2484134	13,64893858	20,35366143	14,78	10,94	8,26	6,37	5,09
Степень деформации, ε							0,274047187	0,259528131	0,244718893	0,229613067	0,214205328
Средняя степень деформации, εс							0,182698125	0,173018754	0,163145796	0,153075378	0,142803552
Средняя скорость деформации, Uс, с-1							0,036038995	0,042298042	0,049155967	0,056561625	0,064441795
Среднее сопротивление деформации, σSC							86,08313774	87,91482224	87,79550613	88,38193737	88,79817985
Длина очага деформации, l							38,80751458	32,17729786	26,88717899	22,63415582	19,18825882
Коэффициент напряженного состояния							1,406606079	1,485241609	1,563423888	1,638847312	1,708935448
Среднее удельное давление							139,4532489	149,2791015	158,5196399	167,2936645	175,2479748
Средняя ширина полосы							1500	1500	1500	1500	1500
Горизонтальная проекция площади контакта полосы с вальсами							188598,3347	181383,94	139444,2566	121707,0482	107288,1732
Удельные прокатки, МН							28,37581633	24,96881168	22,10457878	20,36082191	18,80203507

Таблица 3.3 – Энергосиловые параметры прокатки для стали 08X13.

	Раскат слэба					0 проход	1 проход				
	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход		1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход
5 мм	63,97	37,41242938	19,14055812	10,2005991	5,596474818	5,59	4,13	3,51	2,88	1,90	1,36
Коэффициент высотной деформации	1,89	1,77	1,65	1,53	1,41	1,41	1,38	1,35	1,32	1,30	1,272597074
Толщина заготовки h0, мм	86	48,58757062	29,4470125	19,2484134	13,64893858	20,35366143	14,78	10,94	8,26	6,37	5,09
Степень деформации, ε							0,274047187	0,259528131	0,244718893	0,229613067	0,214205328
Средняя степень деформации, εс							0,182698125	0,173018754	0,163145796	0,153075378	0,142803552
Средняя скорость деформации, Uс, с-1							0,036038995	0,042298042	0,049155967	0,056561625	0,064441795
Среднее сопротивление деформации, σSC							46,26988654	46,77052071	47,18470955	47,50480758	47,72257113
Длина очага деформации, l							38,80751458	32,17729786	26,88717899	22,63415582	19,18825882
Коэффициент напряженного состояния							1,406606079	1,485241609	1,563423888	1,638847312	1,708935448
Среднее удельное давление							75,17112184	80,23267953	85,20481134	89,92036079	94,19678645
Средняя ширина полосы							1500	1500	1500	1500	1500
Горизонтальная проекция площади контакта полосы с вальсами							188586,3347	161363,94	139444,2566	121707,0482	107288,1732
Удельные прокатки, МН							14,17698805	12,94666129	11,88121002	10,84384178	10,19609385

Таблица 3.4 – Энергосиловые параметры прокатки для стали 30X13.

	Раскат слэба					0 проход	1 проход				
	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход		1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход
5 мм	63,97	37,41242938	19,14055812	10,2005991	5,596474818	5,59	4,13	3,51	2,88	1,90	1,36
Коэффициент высотной деформации	1,89	1,77	1,65	1,53	1,41	1,41	1,38	1,35	1,32	1,30	1,272597074
Толщина заготовки h0, мм	86	48,58757062	29,4470125	19,2484134	13,64893858	20,35366143	14,78	10,94	8,26	6,37	5,09
Степень деформации, ε							0,274047187	0,259528131	0,244718893	0,229613067	0,214205328
Средняя степень деформации, εс							0,182698125	0,173018754	0,163145796	0,153075378	0,142803552
Средняя скорость деформации, Uс, с-1							0,036038995	0,042298042	0,049155967	0,056561625	0,064441795
Среднее сопротивление деформации, σSC							46,26988654	46,77052071	47,18470955	47,50480758	47,72257113
Длина очага деформации, l							38,80751458	32,17729786	26,88717899	22,63415582	19,18825882
Коэффициент напряженного состояния							1,406606079	1,485241609	1,563423888	1,638847312	1,708935448
Среднее удельное давление							75,17112184	80,23267953	85,20481134	89,92036079	94,19678645
Средняя ширина полосы							1500	1500	1500	1500	1500
Горизонтальная проекция площади контакта полосы с вальсами							188586,3347	161363,94	139444,2566	121707,0482	107288,1732
Удельные прокатки, МН							14,17698805	12,94666129	11,88121002	10,84384178	10,19609385

Таблица 3.5 – Энергосиловые параметры прокатки для стали 15X25T.

	Раскат слэба										
	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход	6 проход	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход	5 проход
5 мм	63,97	37,41242938	19,14055812	10,2005981	5,596474818	5,58	4,13	3,85	2,68	1,80	1,36
Коэффициент высотной деформации	1,89	1,77	1,65	1,53	1,41	1,41	1,38	1,25	1,32	1,38	1,272597074
Толщина заготовки t0, мм	89	48,58757062	29,4470125	19,2454134	13,64993898	20,35368143	14,78	10,94	8,29	6,37	5,90
Степень деформации, ε							0,274047187	0,259528131	0,244718693	0,229613067	0,214205328
Средняя скорость деформации, с/с							0,182688125	0,173018754	0,163145795	0,153075378	0,142983552
Средняя скорость деформации, Ус, с-1							0,036038995	0,042289842	0,049105967	0,055516225	0,064441765
Среднее сопротивление деформации, МПа							18,78038222	18,87688528	18,97318627	11,04792997	11,08827236
Длина очага деформации, l							38,80751458	32,17729789	26,88717599	22,83455582	18,18825982
Коэффициент напряженного состояния							1,406688079	1,485241809	1,563423888	1,638847312	1,708935448
Среднее удельное давление							17,48155624	16,85876268	18,81488838	20,91171181	21,90898685
Средняя ширина полосы							1500	1500	1500	1500	1500
Горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками							888595,3347	981363,84	139444,2565	121707,0482	107288,1732
Усилие прокатки, МН							3,296976291	3,010851462	2,762072097	2,545102739	2,350254384

Диаграммы степени деформации и усилие прокатки:

Диаграмма 3.1 – Усилие прокатки 08X18Н10.

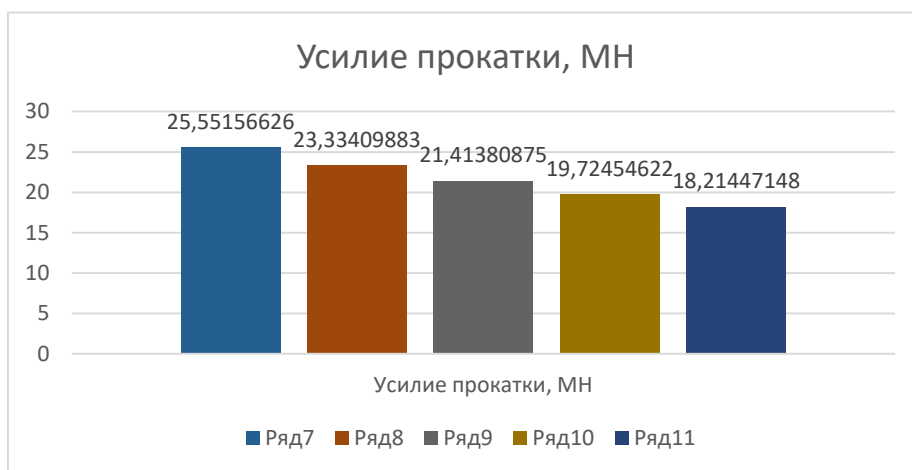


Диаграмма 3.2 – Степени деформации 08X18Н10.

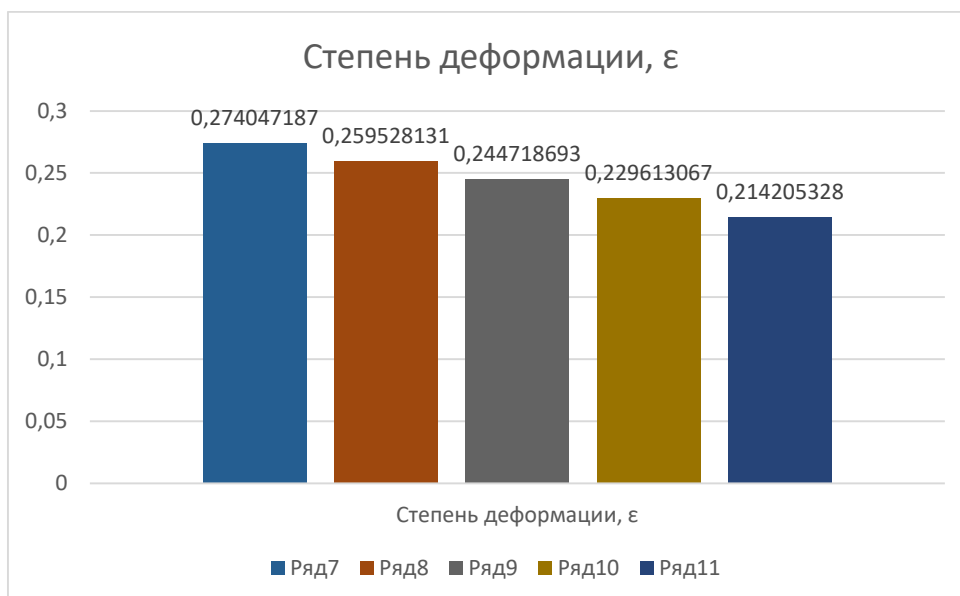


Диаграмма 3.3 – Степени деформации 08X18H10T.

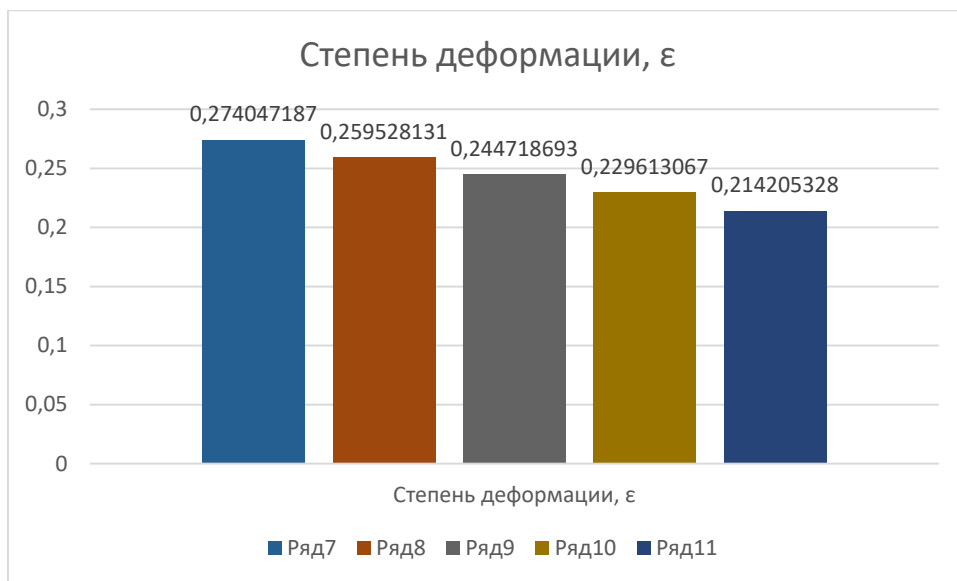


Диаграмма 3.4 – Усилие прокатки 08X18H10T.

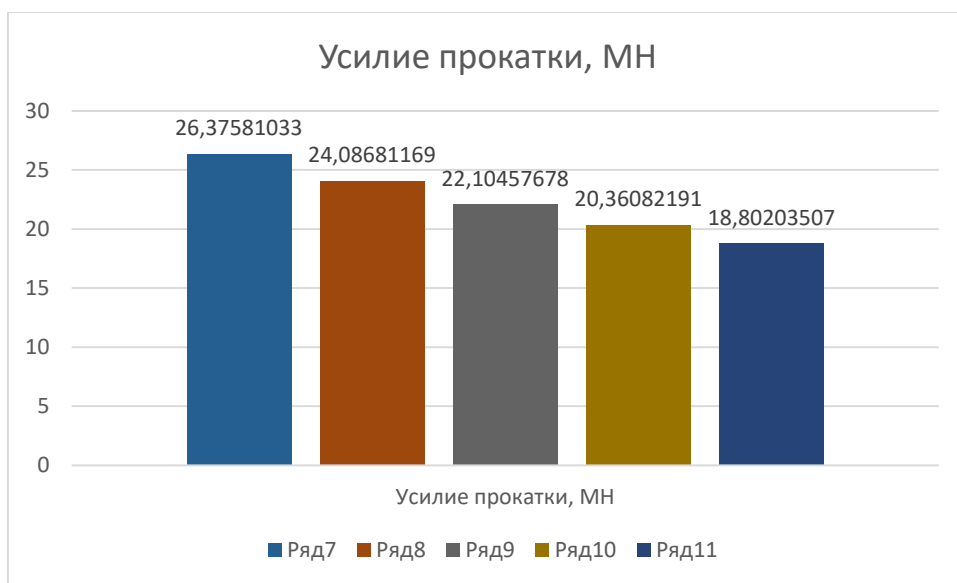


Диаграмма 3.5 – Усилие прокатки 08X13.

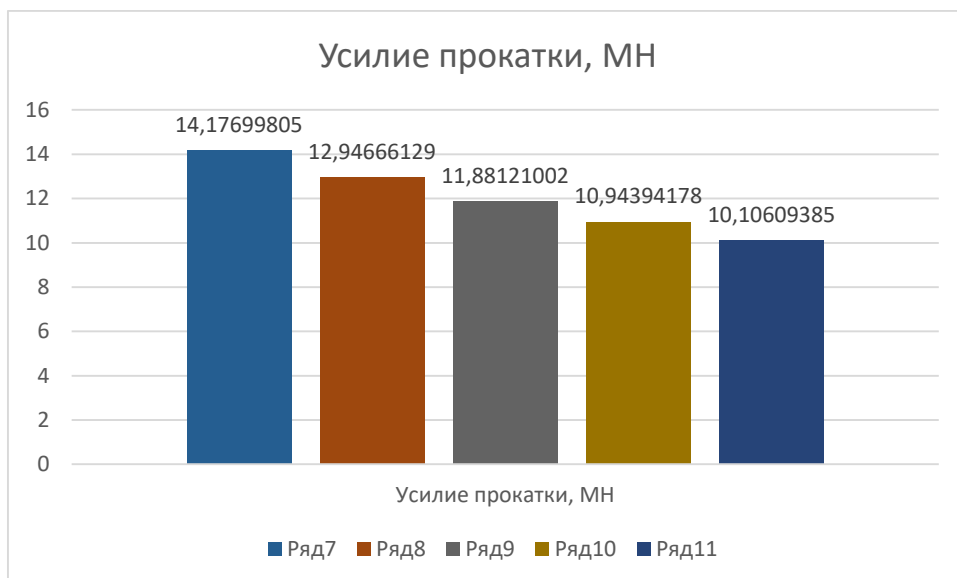


Диаграмма 3.6 – Степени деформации 08X13.

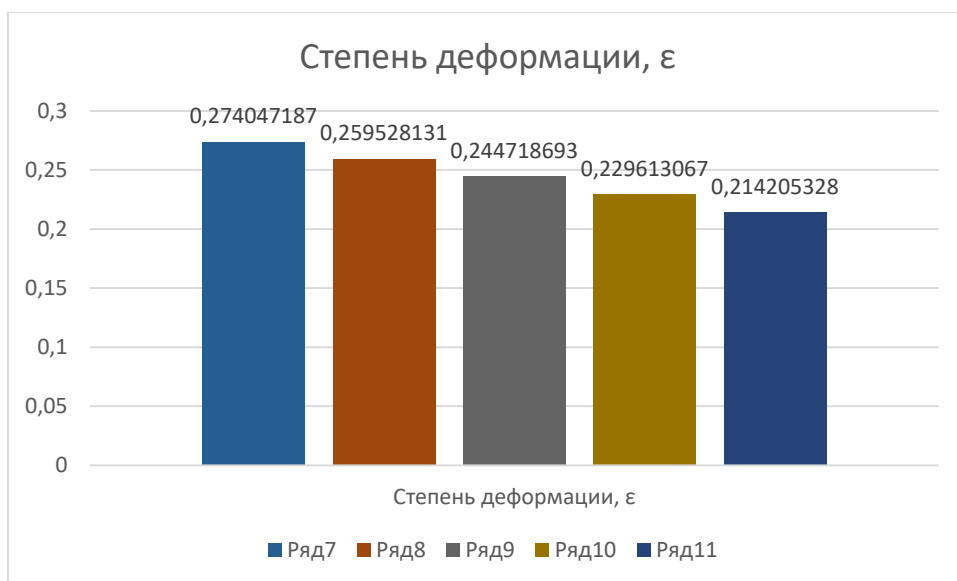


Диаграмма 3.7 – Усилие прокатки 30X13.

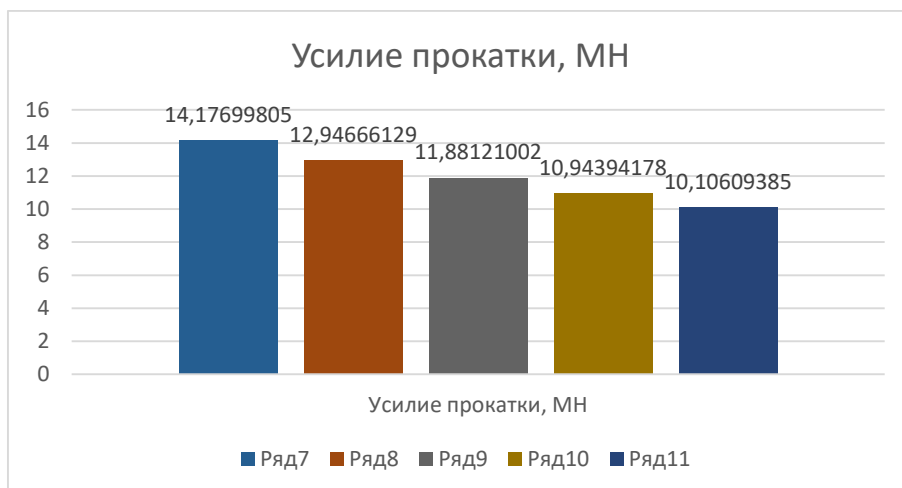


Диаграмма 3.8 – Степени деформации 30X13.

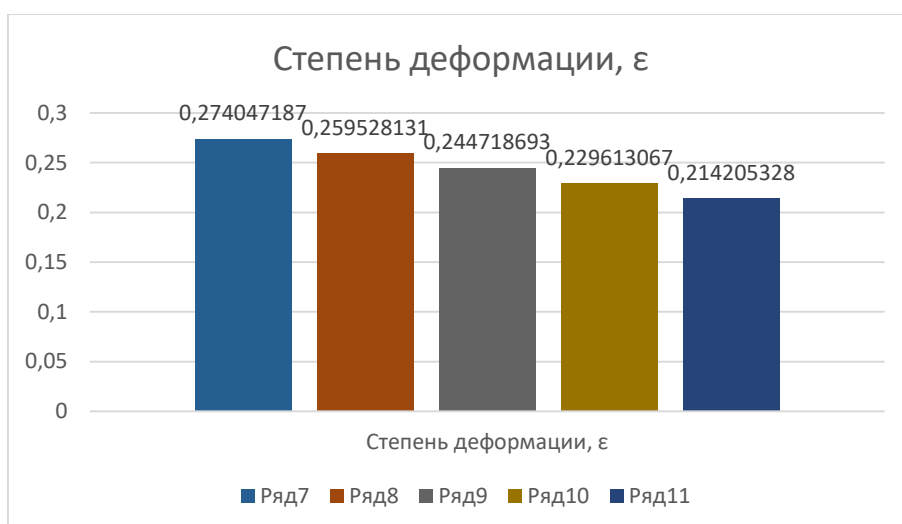


Диаграмма 3.9 – Степени деформации 15Х25Т.

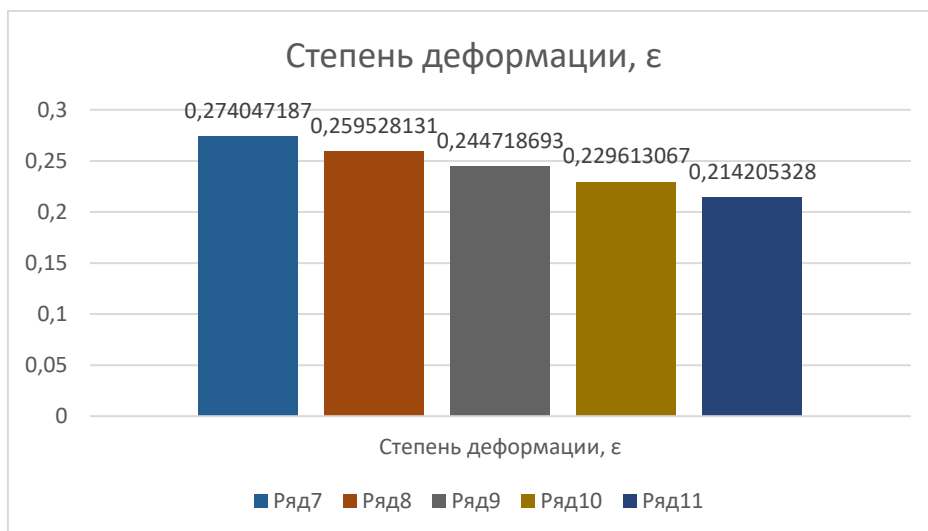
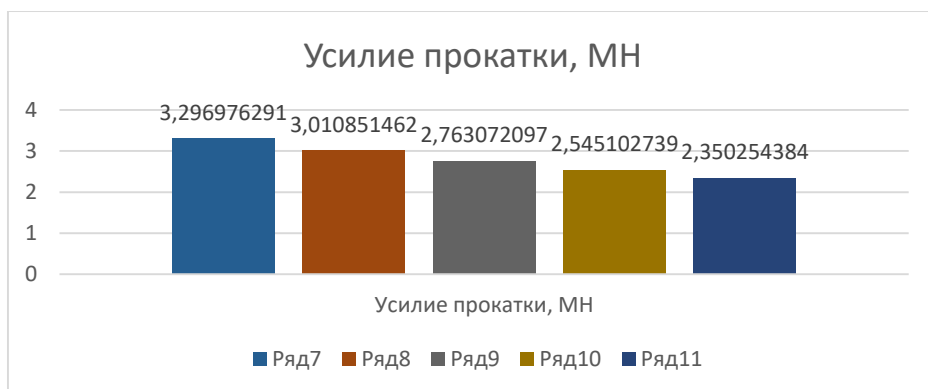


Диаграмма 3.10 – Усилие прокатки 15Х25Т.



1.4 Разработка мероприятий, направленных на снижение разнотолщинности листового проката.

Определенные ряды параметров влияют на валки при прокатки, которые действует на их поперечное сечение. Прогиб валков является одним из этих параметров при прокатке листов. Разнотолщинность можно устранить несколькими способами.

В независимости от вида прокатной продукции, толстый это лист или тонкий, прокатанный на станах холодной или горячей прокатки, качество готового листа во многих случаях определяется его разнотолщинностью. В основном принято выделять поперечную и продольную разнотолщинность листа. Конечную планшетность продукции определяют оба эти параметра. Прокатка на толстолистовых станах оказывает большое влияние на формирование геометрии листа как первичное обжатие исходной заготовки. Будет ли прокатанный лист являться конечным продуктом или только первым этапом в получении тонкой полосы – основная составляющая продольной и поперечной разнотолщинности закладывается именно при первичной обработке металла давлением.

Поэтому стоит обратить внимание на поперечную составляющую. Для этого необходимо сначала определиться с самим понятием разнотолщинности листа. Если сделать замер фактической толщины листа n раз через равные отрезки длины и обозначить их номерами $i = 1, 2, \dots, n$, тогда в каждой точке толщина листа будет равна h_i . В этом случае разнотолщинностью будет называться отклонение по абсолютной величине

$$\Delta_i = |h_i - h_{\text{ср}}|, \quad (1)$$

где $h_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, – средняя толщина листа.

Тогда среднюю разнотолщинность листа можно рассчитать по выражению,

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (2)$$

Из этих формул следует, что точность значений разнотолщинности возрастает при увеличении количества измерений. Но на практике достичь такого сложно. Из-за этого чаще всего толщину листа измеряют в трех точках: по центру и на боковых кромках (на некотором расстоянии от края листа). Значения, полученные на боковых кромках, усредняются, а разность между двумя полученными значениями и является искомой величиной.

Одним из важных параметров, оказывающим влияние на конечную геометрию листа, является прогиб валков на стане горячей прокатки. Для определения самого понятия прогиба необходимо принять, что все валки клетки (в данном случае четырехвалковой клетки) имеют форму цилиндра и зазор между валками одинаков по всей ширине. Тогда при прохождении металла через валки образуется прогиб, вызванной силой P , который оказывает негативное воздействие на конечную разнотолщинность листа. Кривая прогиба, т.е. распределение величины прогиба по ширине валков, имеет сложную форму, лишь отдаленно напоминающую параболическую.

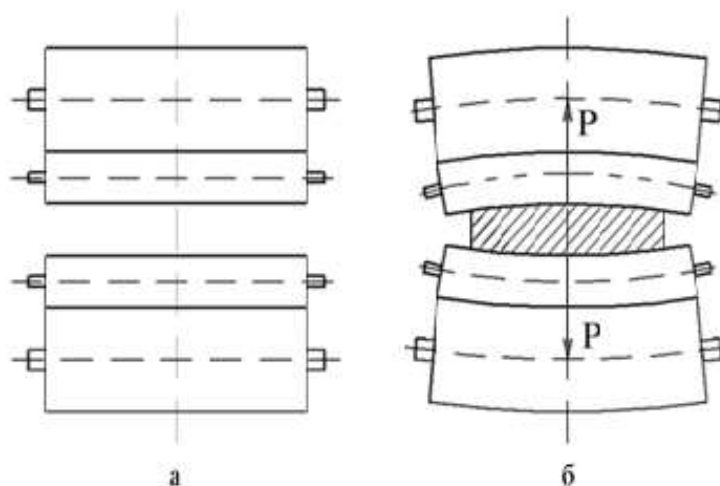


Рисунок 4.1 – Опорный и рабочий валки клетки кварто в ненагруженном состоянии (а) и под нагрузкой (б)

Для компенсации прогиба часто используют профилированные валки. Однако профилировка валков может компенсировать усилие только с помощью определенного набора параметров, таких как усилие и скорость прокатки, а также изначального профиля листа. Чтобы сделать компенсацию прогиба валков более универсальной, используется система противоизгиба валков.

Большинство современных станов оборудованы системой противоизгиба валков. Для этого под подушки валков устанавливаются гидронажимные устройства, которые при отклонении параметров от номинальных значений вводят компенсацию путем дополнительного изгиба валков. Один из примеров реализации такой системы представлен на рисунке 4.1.

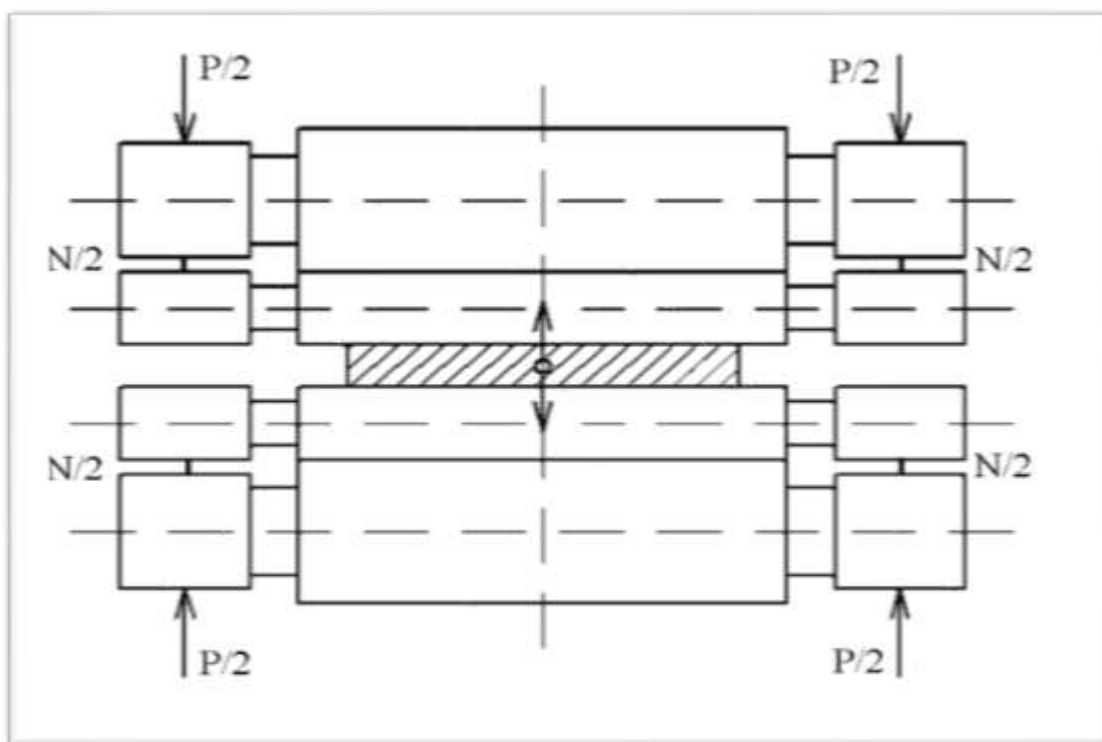


Рисунок 4.2 – Схема реализации системы противоизгиба валков (P – сила прокатки; N – усилие противоизгиба)

А так же традиционными методами регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос принято считать: клетки с осевой сдвижкой валков, перекос валков, регулирование тепловой выпуклости, противоизгиб рабочих и опорных валков, регулирование режима обжатий прокатываемых полос и др. Упомянутые методы обладают известными недостатками. Например, применение противоизгиба рабочих и дополнительного изгиба опорных валков приводит к дополнительному нагружению подшипников валкового узла и более интенсивному износу бочек валков. Недостатки данных мероприятий регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос могут быть устранены при их комбинированном использовании, что позволяет также увеличить диапазон ее регулирования.

Противоизгиб как метод регулирования поперечного профиля полос и листов. Эффективным средством борьбы с разнотолщинностью можно считать силовую профилировку (противоизгиб) рабочих и опорных валков. Плюсами противоизгиба и дополнительного изгиба рабочих и опорных валков является его быстрое действие, позволяющее регулировать поперечную разнотолщинность и планшетность прокатываемых полос непосредственно при прокатке, а также возможность прокатывать на одних и тех же валках полосы различной ширины, материала и с различными обжатиями. На практике существуют три способа силовой профилировки валков.

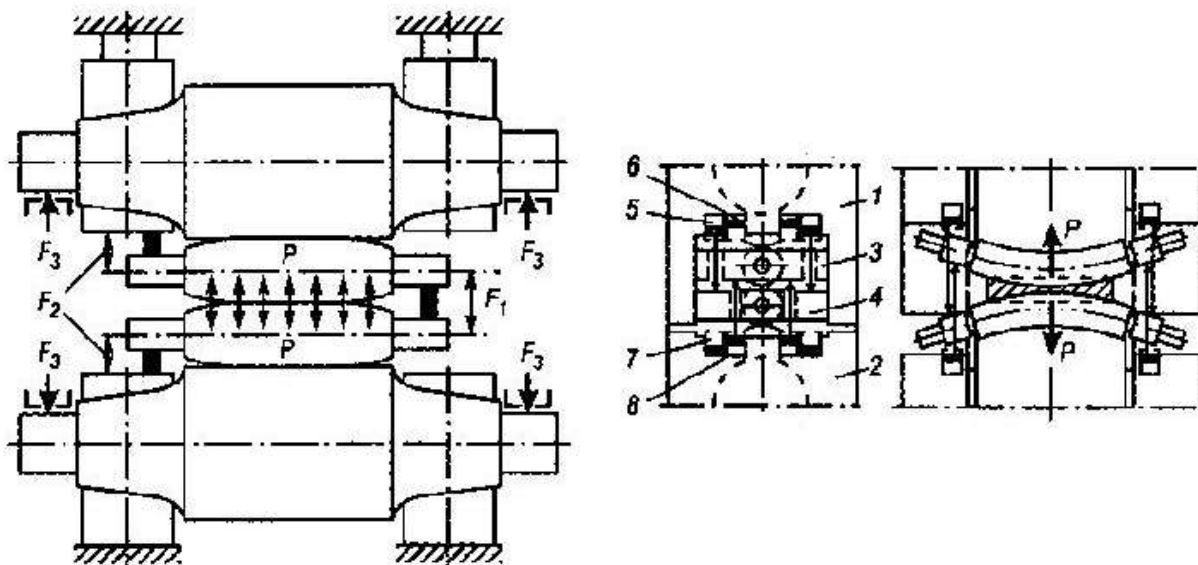


Рисунок 4.3 – Первый способ – осуществление противоизгиба рабочих валков.

Первый способ заключается в реализации осуществления противоизгиба рабочих валков. В этом случае рабочий валок изгибается по сложной кривой под действием давления прокатки, усилия гидроизгиба и давления на контакте рабочего и опорного валков. Валки имеют цилиндрическую форму или небольшую выпуклую бочку. Прогиб валков под действием усилия P уменьшается в результате принудительного противоизгиба рабочих валков приложении распирающих усилий $2F_1$ к их шейкам. Гидравлические цилиндры 5-8 расположены в расточках подушек нижнего рабочего валка 4, а их плунжеры упираются в подушки верхнего рабочего валка 3. Усилие гидрораспора невысокое ($0,15 P$), поэтому и габариты устройства невелики (диаметр цилиндров 80 -100 мм при давлении жидкости в них до 30 МПа). Данное устройство выполняет также функцию уравнивающего. Наиболее оптимальный противоизгиб рабочих валков является при соотношении ширины бочки и её длины $b/l < 0,7$.

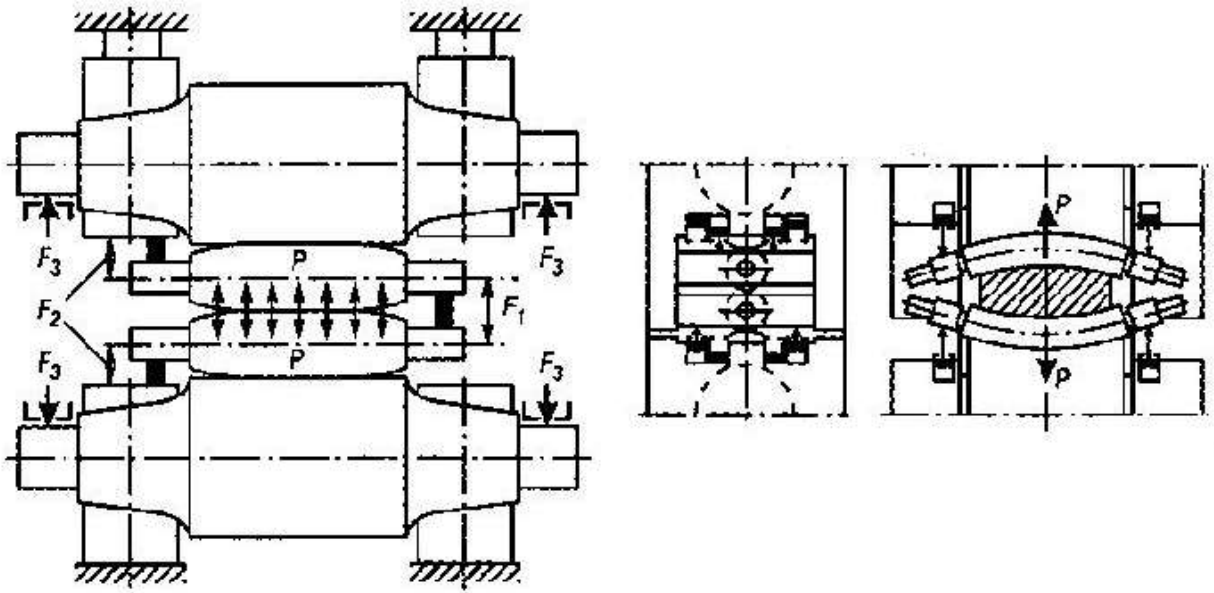


Рисунок 4.4 - Второй способ – дополнительный изгиб рабочих валков, имеющих бочку увеличенной выпуклости.

Второй способ заключается в реализации дополнительного изгиба рабочих валков, имеющих бочку увеличенной выпуклости. Гидроцилиндры расположены в подушках опорных валков 1 и 2, а их плунжеры опираются на подушки рабочих валков. Благодаря такому расположению гидроцилиндров (в подушках опорных валков) задержка при перевалке рабочих валков исключается. Дополнительно к прогибу от действия усилия P рабочие валки дополнительно изгибаются в том же направлении силами $2F_2=0,2 P$. Этот метод наиболее эффективен при прокатке широкой полосы ($b/l= 0,8-0,9$). На практике применяют также комбинированную систему, позволяющую использовать оба метода.

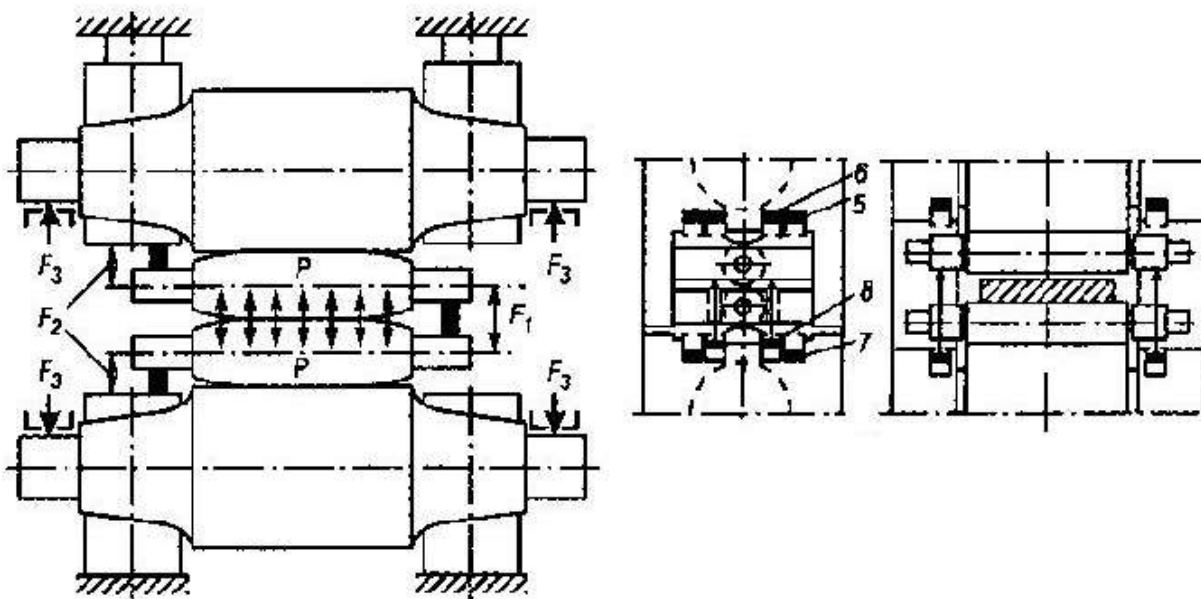


Рисунок 4.5 – Третий способ – противоизгиб опорных валков.

Третий способ заключается в реализации противоизгиба опорных валков. В настоящее время получил более широкое применение. Опорные валки принудительно изгибаются силами $2F_3=P$, уменьшая прогиб рабочих валков. В случае противоизгиба опорных валков требуются большие усилия, для восприятия которых на консольных цапфах требуется устанавливать крупногабаритные роликовые подшипники. Гидроцилиндры тоже имеют большие размеры и усложняют конструкцию клетки. Заштрихованной областью отмечено изменение профиля поперечного сечения полосы при различных способах силовой профилировки валков.

Соответственно наиболее эффективными способами влияния на межвалковый зазор в рабочих клетях широкополосных и листовых станов горячей прокатки являются гидравлический изгиб и осевая сдвигка рабочих валков.

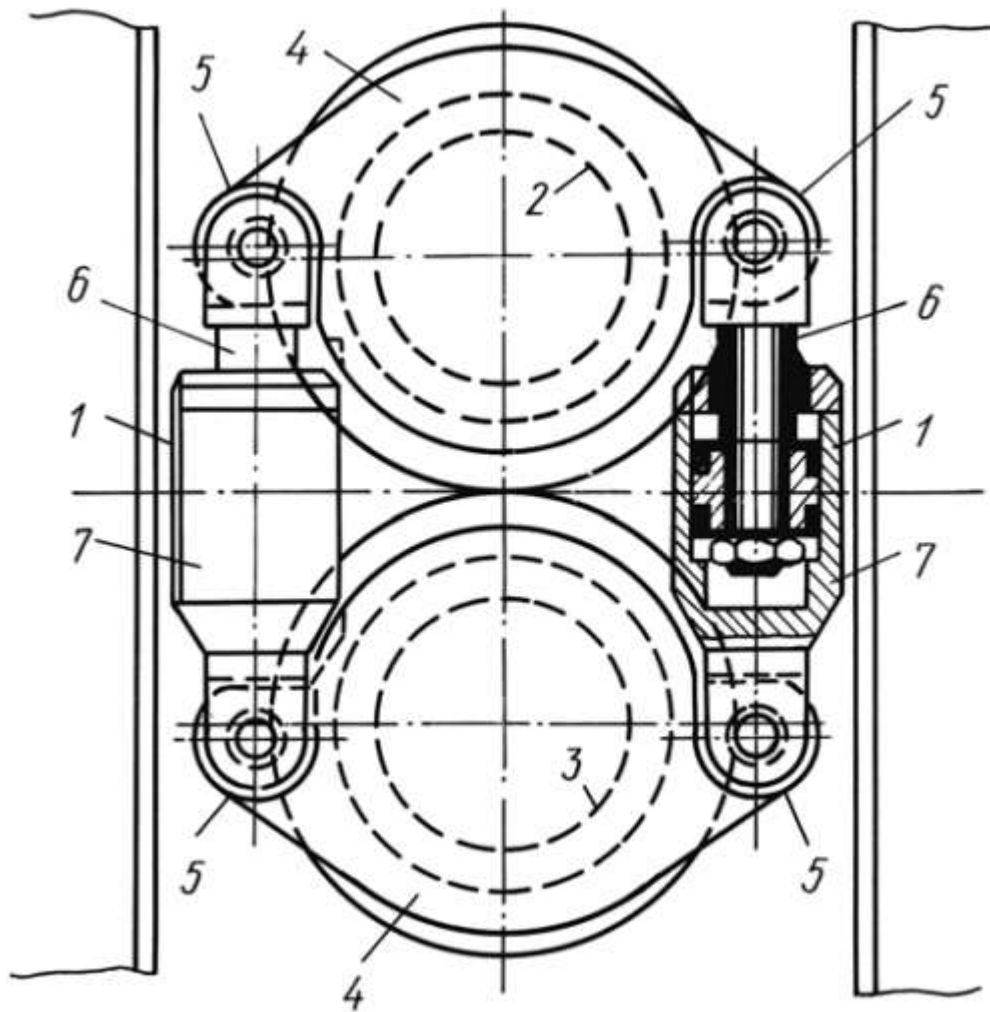


Рисунок 4.6 - Схема установки цилиндров гидроизгиба валков в клети:
 1 — гидроцилиндр, 2, 3 — шейка валка, 4 — корпус, 5 — цапфы, 6 — шток гидроцилиндра, 7 — корпус гидроцилиндра

В устройстве для регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос исполнительный орган представляет собой поршневые системы двойного действия, расположенные по обе стороны шеек валков. Опорной конструкцией является корпус, который имеет по два самоустанавливающихся подшипника. Сферические обоймы этих подшипников расположены на осях, параллельных осям шеек валков. Оси соединены со штоком поршня или корпуса цилиндра соответствующей поршневой системы.

Таким образом, в этой конструкции отказались от какого либо особого шарнирного присоединения исполнительного органа и его опирания на станину клетки. Это облегчает смену валков.

Так же выявлены недостатки изгиба валков, при которых усложняется конструкция клетки, неудобства при перевалке валков, требующие отсоединения системы высокого давления, необходимость усиления подшипниковых опор, повышенный износ бочек валков и др.

Во время работы гидроцилиндров, расположенных справа от вертикальной оси клетки, то есть при реверсивной прокатке, изгибающий момент к дополнительным подушкам промежуточных и дополнительным подушкам нижнего опорного валков прикладывается в противоположном направлении. Изгиб промежуточных валков и нижнего опорного валка в горизонтальной плоскости происходит также в противоположную сторону. Рабочие валки изгибаются в вертикальной плоскости, и полоса прокатывается, как и в первой случае с выпуклым поперечным профилем. Таким образом, изгиб промежуточных и нижнего опорных валков в горизонтальной плоскости приводит к изгибу рабочих валков в вертикальной плоскости, что позволяет регулировать поперечный профиль полосы.

Уменьшить поперечную разнотолщинность и улучшить планшетность прокатываемых полос и листов можно регулируя неравномерность обжатия по ширине полосы.

Известно, что при кинематической асимметрии рабочих валков в очаге деформации возникает зона с противоположно направленными силами трения.

В результате давление металла на валки уменьшается, что приводит к уменьшению упругого прогиба и сплющивания валков, а также к уменьшению поперечной разнотолщинности и улучшению планшетности прокатываемых полос.

Вышеупомянутая способность процесса прокатки с кинематической асимметрией, позволяет использовать ее на реверсивном 1700 станае и непрерывных станах с индивидуальным приводом рабочих валков в качестве канала регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы являлась Совершенствование технологии горячей прокатки нержавеющей листа в условиях стана 1700 ПАО «Челябинский металлургический комбинат»

В выпускной квалификационной работе описаны технологические процессы и оборудования прокатки на стане 1700 ПАО «ЧМК», выбрана технологическая схема производства от заготовки до готовой продукции. Также выбран режим деформации для прокатки листа толщиной 5мм на стане 1700, энергосиловые параметры процессов прокатки. А так же приведены примеры снижения поперечной разнотолщинности листов.

Таким образом, все задачи выпускной квалификационной работы можно считать выполненными, а цель – достигнутой.

Библиографический список

1. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М., Самусев С.В. Об-работка ме-таллов давлением: Учебник 2. Чиченев Н.А. Metallургические машины и обо-рудование: Сбор-ник научных трудов студентов и аспирантов МИСиС
3. Черкасов Р.В. Технологии обработки материалов: практикум 4. Шишко В.Б., Трусов В.А., Чиченев Н.А. Проектирование формо-изменения металла при прокатке на сортовых прокатных станах: Моно-графия 5. Никитин Г.С., Вос-каньянц А.А., Крюков К.А. Расчет энергосило-вых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана 6. Балакин В.П. Обработка металлов давлением: Методические ука-зания по дипломному проектирова-нию для студентов специализаций 1106.07, 1106.08, 1106.09 7. Загиров Н.Н., Сидельников С.Б., Иванов Е.В. Теория обработки металлов давлением: учеб. пособие
8. Вдовин К. Н., Колесников Ю. А. Основы производства стали
9. Рудской А. И., Лунев В. А.: Теория и технология прокатного про-изводства: учебное пособие. М.: Metallургия, 1989. 309 с.
10. Гуляев А. П. Metallоведение