

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

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент

Заведующий кафедрой

_____ Л.В. Радионова

« ____ » _____ 2019 г.

« ____ » _____ 2019 г.

Тема работы: «Разработка технологии изготовления тонких лент и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

ЮУрГУ-22.04.02-2019-244-00.00.00 ПЗ

Руководитель работы:

_____ / А.П.Пелленен /
Автор работы

_____ / В.П.Шумейко /

студентка группы П-244

АННОТАЦИЯ

Шумейко В.П. Разработка технологии изготовления тонких лент и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор». – Челябинск: ЮУрГУ, П-244; 2019, 76 с. 29 ил., 21 табл., библиограф. список – 35 наим., 4 листов чертежей ф. А1.

Данная выпускная квалификационная дипломная работа выполнена с целью получения технологии изготовления тонких лент и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор».

В дипломной работе описано, оборудование для прокатки тонких лент и фольги, так же оборудование, применяемое и необходимое для получения тонких лент и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор».

Проанализированы технологии получения тонкой ленты и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов.

Разработана технология получения тонкой ленты и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор».

Разработаны технические и технологические параметры стана для прокатки тонкой ленты и фольги из свинцовых, цинковых и медноникелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнтикор».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1.ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ЛЕНТ И ФОЛЬГИ	8
2.ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЩЕГО ВИДА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОЛОДНОКАТАННЫХ ЛЕНТ И ФОЛЬГИ.....	12
3.ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ООО НПП «РОСАНТИКОР» ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОС (ПОДКАТА) ИЗ СВИНЦОВЫХ, ЦИНКОВЫХ И МЕДНОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ	15
4.РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ ...	17
4.1 ОПЫТНАЯ ПРОКАКА СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ.....	19
5.РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИНКОВОЙ ФОЛЬГИ.....	21
5.1 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОКАТКИ ЦИНКОВОЙ ФОЛЬГИ.....	24
5.2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФОЛЬГИ.....	27
6.РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-НЕКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ.....	30
6.1 СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ.....	31
7.ТРЕБОВАНИЯ К ПОВРХНОСТИ ФОЛЬГИ.....	34
8.СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	35
9.РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ	38
9.1 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ	38
9.2 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ЦИНКОЙ ФОЛЬГИ.....	39
9.3 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ.....	40
10.РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ФОЛЬГИ.....	41
11.РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ВАЛКОВ И КОМПОНОВКА ВАЛКОВОГО УЗЛА.....	55
11.1 ПАРАМЕТРЫ ДВУХВАЛКОВОГО СТАНА.....	55
11.2 ПАРАМЕТРЫ ЧЕТЫРЕХ ВАЛКОВОГО СТАНА	57
11.3 СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСТВОРА ВАЛКОВ.....	59

11.4 СХЕМА СТАНА ДУО-КВАРТО 400.....	60
11.5 МОТАЛКИ.....	62
11.6 ПОДДЕРЖАНИЯ ПОСТОЯННОГО НАТЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ 62	
11.7 ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ	64
11.8 ИЗМЕРИТЕЛЬ НАТЯЖЕНИЯ	65
11.9 ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ	67
12.ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ НА СТАНЕ ДУО-КВАРТО.....	68
13. ПРЕДЛАГАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ООО НПП «РОСАНТИКОР» ДЛЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ.....	70
13.1ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СТАН ДЛЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ.....	70
13.2ПРЕДЛАГАЕМАЯ СХЕМА МОТАЛКИ НА СТАН ДУО – 710X1400	71
13.3 ПРЕДЛАГАЕМАЯ СХЕМА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦ	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74

ВВЕДЕНИЕ

Значительную долю в объёме металлургического производства традиционно занимает листовая продукция. На протяжении последних 25 лет совершенствования и инновации в области производства плоского стального проката сопровождались повышением требований к качеству продукции и увеличению производственных расходов [1]. Это инициировало многочисленные разработки в области технологии и оборудования производственного процесса, а также в системах автоматизации и контроля, направленные на оптимизацию качества продукции, повышения производительности оборудования и снижения энергопотребления. Совершенствование оборудования и разработка эффективных систем контроля и автоматического регулирования являлось основным, хотя и требующим значительных капитальных затрат, направлением развития листопрокатного производства [2].

Постоянный рост требований к качеству поверхности и повышенной точности прокатки тонких лент и фольги создал необходимость в совершенствований существующих и в создании новых конструкций прокатных станов [3].

Форму тонких лент и фольги указывают в ГОСТах. Она и является показателем, определяющим качество полуфабриката. При прокатке в холодном состоянии на тонких лентах и фольге в целом ряде случаев наблюдается неровности поверхности в виде волнистости или гофра [4]. Наблюдается также изгиб проката в поперечном сечении в виде дуги (желоба или короба).

Громадная заслуга в области развития обработки цветных металлов, в частности в области прокатного производства, принадлежит ведущим советским ученым С.И. Губкину, П.С. Истомину, А.И. Целикову, И.М. Павлову, а также крупным специалистам А.М. Комарову, М.Ф. Баженову, С.С. Миронову.

1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ЛЕНТ И ФОЛЬГИ

Фольга – это тонко прокатанный металл (листы или ленты), толщина которого зависит от его вида и состояния и может колебаться в широких пределах 0,001 – 0,05 мм. [5]

Прокатка фольги рулонным способом осуществляется на специальных фольгопрокатных станах. Схема одного из фольгопрокатных станов приведена на рисунке 1.

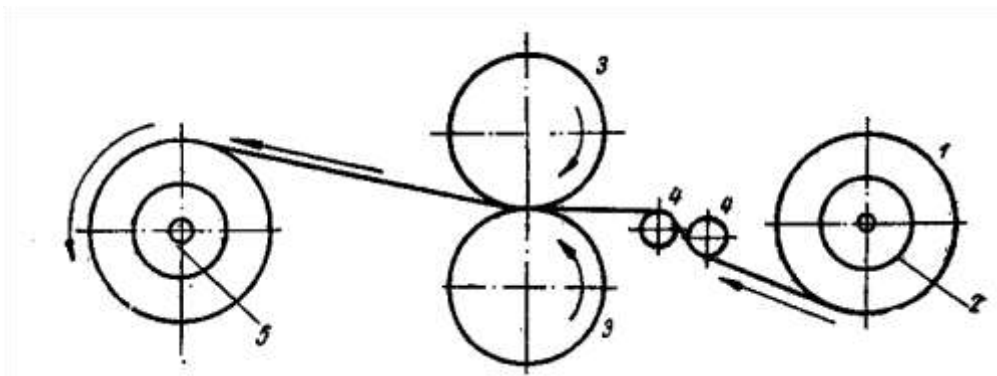


Рисунок 1 – Схема фольгопрокатного стана

1 – рулон; 2, 5 – моталки; 3 – валки фольгопрокатного стана; 4 – направляющие ролики

Для прокатки фольги применяется заготовка в виде плотно намотанных рулонов ленты, исключая возможность проворачивания и взаимного перемещения отдельных витков ленты в рулоне при натяжении ее во время прокатки. При проворачивании и перемещении витков в рулоне образуются задиры, потертости и риски, которые нарушают целостность и чистоту поверхности фольги.

Фольгопрокатные станы, схемы которых представлены на рисунках 2, 3 и 4, могут быть двухвалковые, четырехвалковые, шестивалковые, двенадцативалковые, двадцативалковые. Они в свою очередь могут быть нереверсивные (прокатка только в одном направлении) и реверсивные (прокатка в двух направлениях).

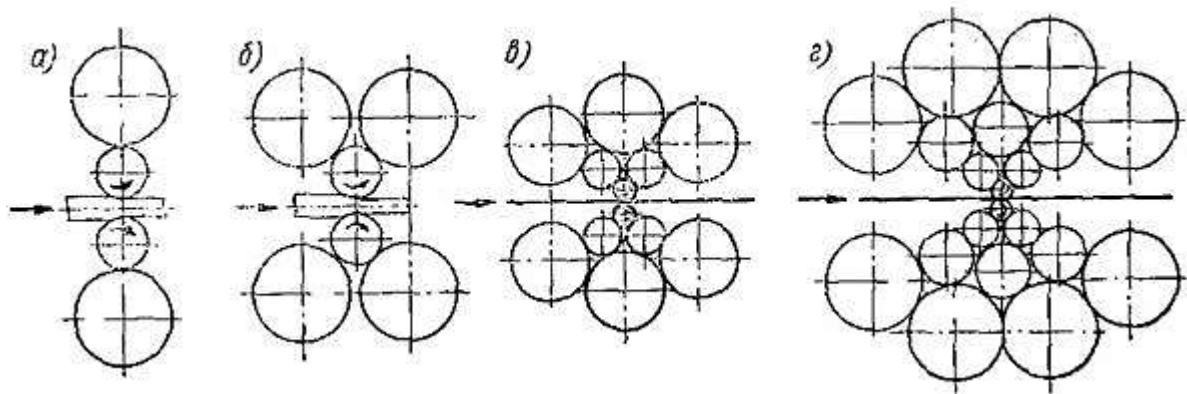


Рисунок 2 – Схемы станов: а) кварто; б) шестивалкового; в) двенадцативалкового; г) двадцативалкового

Каждый прокатный стан состоит из трех основных частей: рабочей клетки; передаточных механизмов – редуктора с шестеренной клетью и электродвигателя.

Конструкции фольгопрокатных станов неодинаковы.

Рабочая клетка состоит из двух стальных станин, между которыми расположены валки, находящиеся в одной вертикальной плоскости.

Станины рабочей клетки установлены на плитовину. Валки с подшипниками качения устанавливаются в подушки, которые размещаются в проемах станины. Для правильной установки валков и изменения расстояния между ними в станине установлено нажимное устройство.

Валки – важная составляющая фольгопрокатного стана. Они приводятся во вращение от главного привода. Поверхность валков обладает повышенной твердостью, это предотвращает появление отпечатков, а так же увеличивает срок службы. Помимо твердости валки должны обладать достаточным пределом прочности, предотвращающей их от поломок.

Важной деталью прокатного стана являются подшипники. В них вращаются шейки прокатных валков, которые должны быть предохранены от износа. В процессе прокатки подшипники испытывают большие удельные

давления, поэтому их конструкция имеет для прокатных валков весьма важное значение.

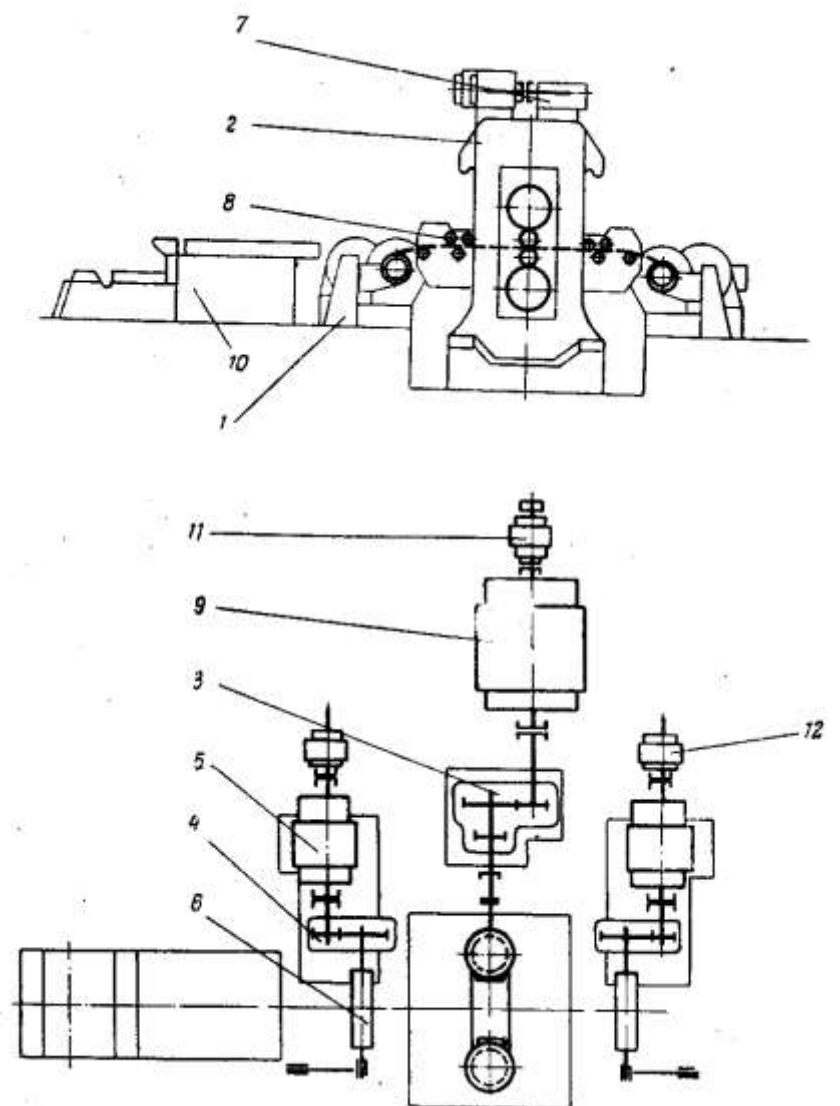


Рисунок 3 – Кинематическая схема четырехвалкового реверсивного фольгопрокатного стана 160/450x750

- 1 – откидная подшипниковая опора; 2 – рабочая клеть;
 3 – комбинированный редуктор; 4 – редуктор привода моталок;
 5 – двигатель сматывающего и наматывающего устройства; 6 – шпуля;
 7 – нажимное устройство; 8 – датчик скорости прокатки; 9 – двигатель стана;
 10 – перемоточно-правильный аппарат; 11, 12 – тахогенераторы

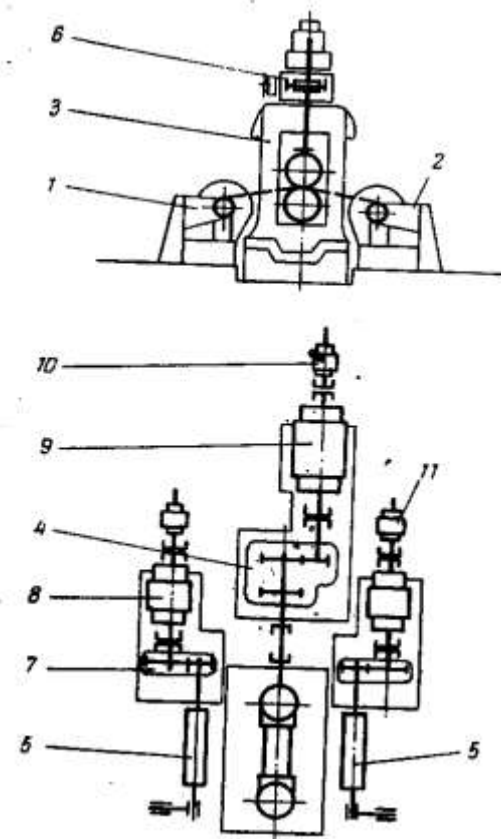


Рисунок 4 – Кинематическая схема фольгопрокатного стана 320x750 с редуктором закрытого типа:

- 1,2 – откидные подшипниковые опоры; 3 – рабочая клеть;
- 4 – комбинированный редуктор; 5 – моталки; 6 – нажимное устройство;
- 7 – редуктор привода моталки; 8 – электродвигатель привода моталки;
- 9 – электродвигатель главного привода;
- 10 – тахогенератор главного привода;
- 11 – тахогенератор двигателя привода моталки

Моталки служат для создания требуемого натяжения фольги, а также для регулирования толщины прокатываемой фольги путем изменения натяжения.

2. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЩЕГО ВИДА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОЛОДНОКАТАННЫХ ЛЕНТ И ФОЛЬГИ

Процесс изготовления холоднокатаных лент и фольги практически всегда рассматривается как симметричный.

Симметричный процесс прокатки – это процесс прокатки с симметричными окружными скоростями валков.

В данной работе так же будет рассмотрен процесс несимметричной прокатки, с несимметричными окружными скоростями валков. У данного процесса есть множество положительных сторон, таких как: значительное снижение усилия прокатки, упругих деформаций валков, возможности получения более тонких полос и лент по сравнению с обычным процессом прокатки, возможность получения требуемых физико-механических свойств.

Процесс несимметричной прокатки позволил расширить технологические возможности прокатных станов: повысить качество продукции, расширить сортамент продукции, снизить себестоимость продукции. Особый вклад внес Выдрин В.Н. со своими сотрудниками [6], он разработал процесс прокатка – волочение, представленный на рисунке 5, реализующийся в валках с отношением окружных скоростей, равным вытяжке полосы, и определенной разнице переднего и заднего натяжений. В результате на контакте с валками напряжения трения направлены в противоположные стороны, что исключает их подпирющее действие на деформируемый объем и способствует снижению усилия прокатки. С уменьшением толщины полосы этот эффект повышается.

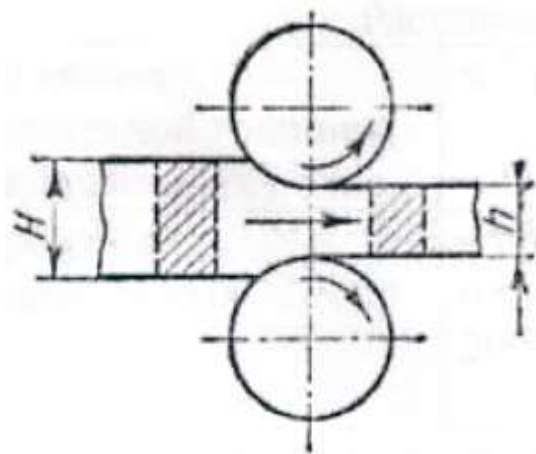


Рисунок 5 – процесс прокатка – волочение

Кинематические условия процесса прокатка-волочение:

$$\lambda = \frac{h_0}{h_1} = \frac{V_{B1}}{V_{B2}}; V_{B1} = V_1; V_{B0} = V_0,$$

где, λ – коэффициент вытяжки;

V_{B1}, V_{B0} – окружные скорости валков;

V_1, V_0 – скорости переднего и заднего концов полосы;

h_0, h_1 – толщина полосы до и после деформации.

Но наряду с перечисленными выше преимуществами процесса прокатка – волочение имеется ряд специфических особенностей, которые в определенной мере затрудняют широкое использование процесса прокатка – волочение. Это повышенное переднее удельное напряжение и повышенные крутящие моменты на валках.

На основании отмеченных преимуществ и недостатков процессов прокатка – волочение был сформулирован новый подход к использованию несимметричных процессов прокатки для изготовления холоднокатаных лент и фольги [7].

Подход заключается в том, что частные кинематические варианты несимметричной прокатки, к числу которых относится прокатка – волочение, не могут решить всех технологических проблем. Поэтому целесообразно использование множество кинематических вариантов процесса прокатки и подходить к процессу прокатки как к единому процессу с различными

соотношениями рассогласования скоростей вращения валков и различным соотношением скоростей валков к скорости концов полосы.

Таким образом, была сформулирована концепция процесса прокатки лент и фольги общего вида, представленная на рисунке 6. Отношение окружных скоростей валков при прокатке общего вида находятся в диапазоне $1 \leq \frac{V_{B1}}{V_{B0}} \leq \lambda$ и включают как обычный процесс, так и процесс прокатка – волочение. Поэтому для достижения требуемых результатов, оптимальным может оказаться любой из множества кинематических вариантов процесса общего вида.

Процесс общего вида прокатки обладает таким преимуществам, как сокращение числа проходов, за счет более полного использования возможностей оборудования. Анализ, проведенный в работе [31] показал, что по мере увеличения толщины полосы режимы деформации процесса прокатки общего вида приближаются к симметричному процессу, а при уменьшении толщины – к режимам прокатка-волочение. Моделировались режимы деформации для мельхиора МН19 с толщины 2 мм до минимально возможного значения за три этапа: 2мм \rightarrow 0,3мм, 0,3мм \rightarrow 0,06мм, 0,06мм \rightarrow h_{min} . После первого и второго этапов предусматриваются отжиг полосы для восстановления пластичности материала.

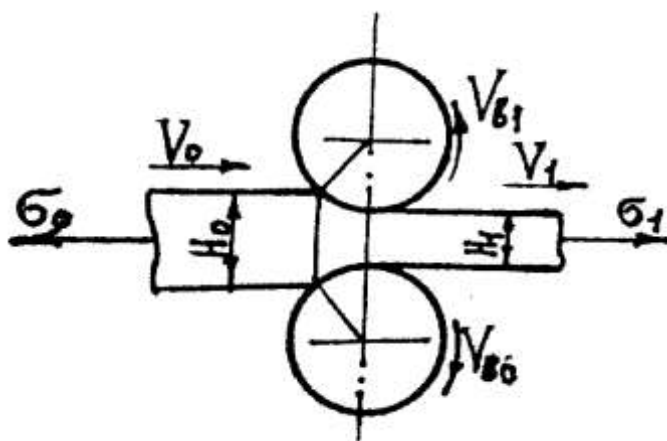


Рисунок 6 – Процесс общего вида

Кинематические условия процесса прокатки общего вида:

$$K_V = V_{B1} / V_{B0}; \lambda = H_0 / H_1; 1 \leq K_V \leq \lambda;$$

$$V_0 \leq V_{B1} \leq V_1$$

$$V_0 \leq V_{B0} \leq V_1$$

3. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ООО НПП «РОСАНТИКОР» ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОС (ПОДКАТА) ИЗ СВИНЦОВЫХ, ЦИНКОВЫХ И МЕДНОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Свинец и цинк разливают в изложницы. Размеры заготовок: толщина 100 мм, ширина 650 мм, длина 1000 мм.

Медно-никелевые заготовки, из сплава МН19, получают непрерывной разливкой с толщиной 80 мм и шириной 330 мм. Далее осуществляется резка на мерные длины до 1000 мм.

Заготовки перед прокаткой нагревается до температуры 100 градусов Цельсия в камерной печи.

Получение полос осуществляется на стане 710x1400, приведенном на рисунке 7, имеющей следующую технологическую характеристику, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Технологическая характеристика стана Дуо 710x1400

Максимальное усилие прокатки	6 МН
Максимальный крутящий момент	1,5 МН·м
Общая масса клетки	910 т
Номинальный диаметр бочки валка	710 мм
Длина бочки валка	1400 мм
Диаметр шейки валка	480 мм
Длина шейки валка	568 мм
Расстояние между осями нажимных винтов	2000 мм
Материал валка	чугун (ЛПХНМА-74)
Опоры валка выполнены на подшипниках качения №1077996 [9]	
Нажимное устройство	электромеханическое
Скорость прокатки	1 м/с
Общая длина стана	18 м
Расстояние от рабочих валков до поперечной резки	12 м

Свинец прокатывается до 4 мм без термообработки, так как свинец при холодной прокатке практически не упрочняется. Цинк прокатывается с промежуточной термообработкой до толщины 50 мм и далее до 3 мм без термообработки. Медно-никелевые заготовки прокатывают с промежуточной термообработкой. При толщине 10 мм проводится промежуточный нагрев (отжиг) и пескоструйная двусторонняя обработка. Нагрев осуществляется в камерной печи с выдвижным подом до 950 градусов Цельсия. Далее осуществляется прокатка до 3 мм без термообработки.

Передние и задние концы полосы режутся на гильотинных ножницах.

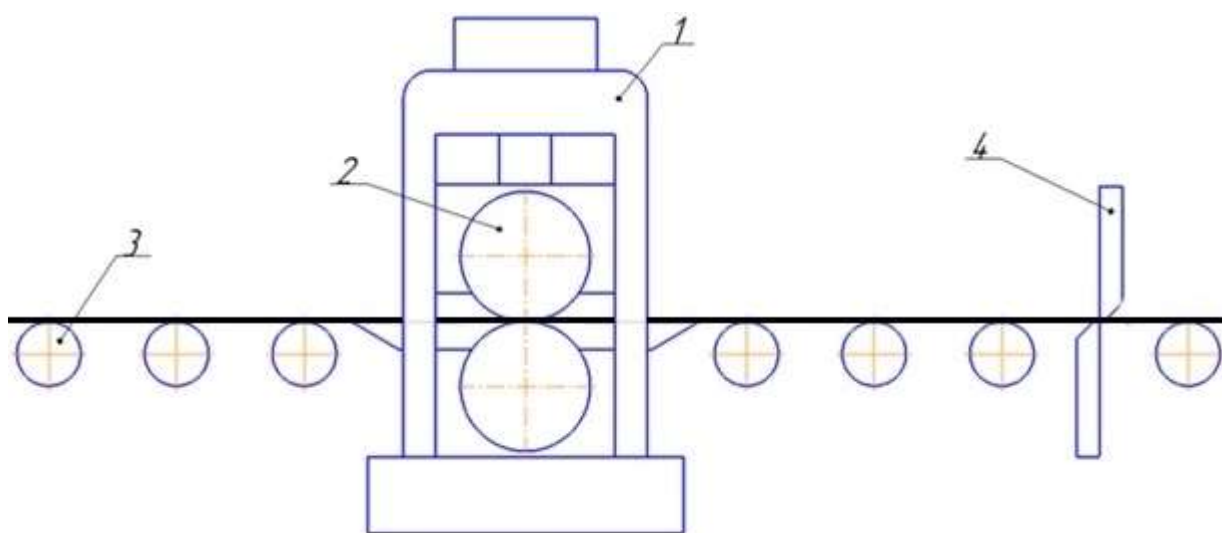


Рисунок 7 – Схема стана Дуо – 710x1400:

- 1 – станина; 2 – рабочие валки; 3 – транспортные рольганги;
4 – ножницы гильотинные поперечной резки

4. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ

Фольга выпускается по техническим регламентам утвержденными на каждом предприятии в соответствии с требованиями. Фольга из сплава С1 используется для различных видов производства. Предварительно свинцовые чушки расплавляют и затем разливают в изложницы, получая слитки толщиной до 100 мм. Полученные слитки подогревают до 100 – 150 градусов Цельсия и прокатывают на двухвалковых станах с диаметром рабочих валков до 700 мм. Затем получают полосы толщиной 4 – 5 мм. Прокатка полосы осуществляется без промежуточной термообработки. Полученные полосы прокатываются на двух- или четырехвалковых станах, схемы фольгопрокатных станов представлены на рисунках 3 и 4, за два прохода до толщины 0,9 мм, по схеме: 4 → 2 → 0,9 мм. Дальнейшая прокатка свинцовой фольги осуществляется на фольгопрокатных двухвалковых станах, по схеме: 0,9 → 0,22 → 0,1 → 0,05 мм в три прохода [5].

Технологическая смазка – бензин 80% и индустриальное масло 20%. Прокатку ведут со скоростью 40 – 50 м/мин. Скорость прокатки ограничивается разогревом валков в очаге деформации. Дальнейшая

прокатка фольги осуществляется так же на двухвалковом фольгопрокатном стане до толщины 0,03 мм за один проход. В процессе прокатки фольги на требуемый размер применяется промежуточная обрезка кромок. В таблице 2 приведен технологический процесс изготовления фольги толщиной 0,03 мм из заготовки толщиной 0,9 мм применяемой ранее на Ленинградском (Санкт-Петербургском) фольгопрокатном заводе (в настоящее время данное предприятие ликвидировано) [5].

Из приведенных данных видно, что прокатка свинцовой фольги позволяет применять большие разовые относительные деформации, до 65% за проход.

Таблица 2 – Технологический процесс изготовления фольги толщиной 0,03 мм из заготовки толщиной 0,09 мм

Наименование операции	Толщина, мм		Абсолютное обжатие, мм	Относительное обжатие, %	Ширина, мм
	начальная	конечная			
Прокатка	0,90	0,40	0,5	55,6	280
	0,40	0,14	0,26	65,0	280
	0,14	0,08	0,06	42,8	280
Обрезка кромок	0,08	–	–	–	270
Прокатка	0,08	0,03	0,05	62,5	270
	0,03	–	–	–	270
Резка по заказу	0,03				
Приемка ОТК	0,03				

4.1 ОПЫТНАЯ ПРОКАКА СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ

В работе [10] описана опытная прокатка фольги на двухвалковом стане ХПЛ-200, схема которого приведена на рисунке 8, с толщины 4 мм до толщины 0,025 мм:

4 → 2 → 1 → 0,5 → 0,25 → 0,12 → 0,05 → 0,025 мм

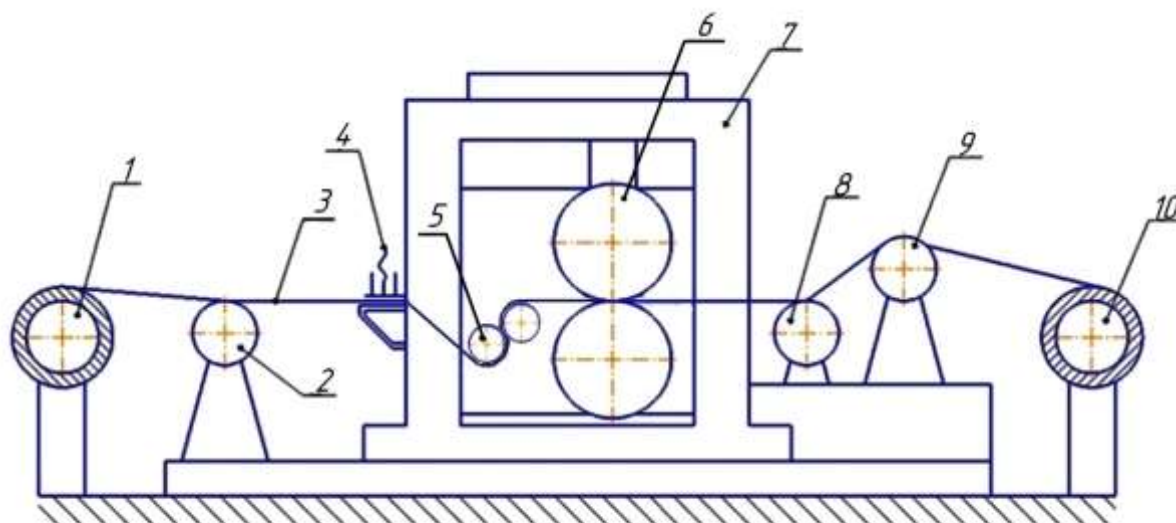


Рисунок 8 – Схема универсального стана ХПЛ – 200:

1 – разматыватель; 2 – задняя моталка; 3 – полоса; 4 – прижим;

5 – направляющие ролики; 6 – валки; 7 – рабочая клетка;

8 – передняя моталка;

9 – фрикционная моталка; 10 – концевая моталка

В первом проходе осуществлялась раскатка полосы, так как конструктивные особенности стана не позволяют проводить прокатку с натяжением концов полосы. Прокатка полосы проводилась на сухих валках, без смазки. При незначительном наличии смазки захват металла валками не осуществляется, происходит пробуксовка валков.

Во втором проходе прокатка проводилась с разматывателя. После задачи переднего конца полосы в валки стан останавливался, и создавалось, с

помощью прижима, заднее натяжение полосы. Затем стан включался. Передний конец заправлялся в переднюю моталку при отключённом стане. После создания переднего натяжения осуществлялась дальнейшая прокатка полосы. Во втором проходе при прокатки полосы с 2 до 1 мм смазка также не использовалась. Полоса с моталки сматывалась на шпулю концевой моталки.

В третьем проходе с толщины полосы 1 мм до толщины 0,5 мм прокатка осуществлялась с подачей охлаждающей эмульсии. Причем эмульсия подавалась на валки со стороны входа полосы в валки. Такая особенность охлаждения валков и их смазки во время прокатки объясняется тем, чтобы не было эмульсии на полосе после ее выхода из валков. Если эмульсия остается на полосе при смотке ее на концевую моталку, то она, как правило, высыхает и образовавшийся налет остается на полосе, что снижает качество поверхности. Кроме того, поскольку, эмульсия на полосе высыхает не равномерно по ширине, это приводит к разному коэффициенту трения в очаге деформации по ширине и образованию волнистости из-за неравномерности обжатию полосы.

Четвертый проход с толщины 0,5 мм до толщины 0,25 мм осуществляется с разматывателя (как второй и третий проходы). Прокатка осуществляется также с подачей эмульсии и последующей смоткой ленты на шпулю концевой моталки.

Пятый проход с толщины 0,25 мм до толщины 0,12 мм осуществляется также с разматывателя. Заднее натяжение ленты создается прижимом. По конструктивным особенностям стана переднее натяжение ленты создается фрикционной моталкой. Для смазки валков используют промышленное масло И-20 и керосин (50% – масло, 50% – керосин).

Шестой проход с толщины 0,12 мм до толщины 0,05 мм осуществляется с предварительной перемоткой ленты с разматывателя на заднюю фрикционную моталку. Затем передний конец ленты задается в

предварительно поджатые валки. В результате этого передний конец перемещается к барабану передней моталки, на котором закрепляется при выключенном стане. После пуска стана проводится корректировка переднего натяжения с целью устранения волнистости на краях фольги. Кроме того, используется подогрев верхнего валка в середине бочки для устранения волнистости кромок фольги. Прокатка осуществляется с подачей смазки, как и в предыдущем проходе. После окончания прокатки в шестом проходе она сматывается на пластмассовую шпулю устанавливаемую на фрикционную моталку. Затем шпуля с фольгой устанавливается на заднюю фрикционную моталку.

В седьмом проходе при прокатке фольги на конечную толщину 0,025 мм технологические операции такие же, как и в шестом проходе.

Прокатанная фольга упаковывается и передается в ООО НПО «РосАнтикор» для резки на ширину 130 мм с целью устранения образовавшихся дефектов прокатки на краю фольги (в основном волнистости, складкообразование, разрывы кромки).

5. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИНКОВОЙ ФОЛЬГИ

Перед прокаткой цинк плавят в пламенных отражательных печах, в электрических, сопротивления и в индукционных печах промышленной частоты. В отражательных печах плавят обычно низкосортный цинк, в индукционных электрических печах напротив – только высокосортный цинк. [11,12]. Температура литья цинковых слитков не должна превышать 450°C [13,14].

Прокатка литого цинка, с наибольшими относительными удлинениями, для чистого цинка осуществляется при температуре 120–130°C, а обычного при 150°C [15].

В холодном состоянии хорошо прокатывается только цинк, имеющий, деформированную структуру. При холодной прокатке цинк упрочняется незначительно, благодаря его низкой температуре рекристаллизации.

Не смотря на то, что цинк в процессе холодной прокатки слабо упрочняется, на практике отдельных технологических процессах применяют отжиг прокатного цинка. Бурхардт [13] указывает, что твердость холодного электролитного цинка после отжига при температурах ниже 150°C увеличивается, в то время как показатели пластичности (относительное удлинение и сужение) с повышением температуры, особенно выше 150°C, резко снижаются.

Аналогичные явления наблюдаются и по цинку меньшей чистоты. Ульянов [16] объясняет повышение твердости после отжига влиянием примесей и различными условиями при получении цинка. Он доказал также, что примеси влияют и на структуру цинка при рекристаллизации.

Отжиг прокатанного цинка при повышенных температурах, особенно при небольших суммарных деформациях, приводит к заметному росту зерен и тем самым к снижению временного сопротивления и относительного удлинения. В работе [15] приведены данные, характеризующие влияние структуры после отжига на временное сопротивление.

Таблица 3 – Влияние смазки на коэффициент трения

Смазка	Коэффициент трения
Без смазки	0,25–0,30
Керосин	0,12–0,15
2–4% канифоли и 96–98% керосина	0,07–0,10
15–20% минерального масла и 80–85% керосина	0,06–0,08

Таблица 4 – Смазка при различных способах прокатки

Способ прокатки	Смазка	
	Рулонная прокатка	Листовая прокатка
Горячая	Эмульсия на 2–4% эмульсола и 98–96% воды 5% стеарина и 95% парафина ¹	5% стеарина и 95% парафина
Заготовительная	Эмульсия на 2–4% эмульсола и 98–96% воды 15–20% минерального масла и 85–20% велосита	5% стеарина и 95% парафина 16% натурального воска и 84% канифоли
Холодная окончательная	2–4% канифоли и 98–96% керосина 2–4% канифоли и 98–96% велосита 15–20% веретенного масла и 85–80% велосита 2–4% олеиновой кислоты и 98–96% керосина ²	40% натурального воска и 60% канифоли

1 – Смазка при прокатке на холодных валках (после перевалки валков и длительных простоев стана).

2 – Смазка применяется только для тонких лент общего назначения.

Большое влияние на величину средних рабочих напряжений при деформации оказывает коэффициент внешнего трения. Большое влияние на величину трения оказывают смазки. Коэффициент трения при холодной прокатке цинка с различными смазками приведен в таблице - 3 [17].

К смазкам при прокатке цинка предъявляют особые требования. Наряду со снижением коэффициента трения они не должны загрязнять

поверхность полуфабрикатов, затруднять пайку и сварку изделий из листов цинка химических источников тока, ухудшать его коррозионную стойкость. Смазка должна быть нейтральной по отношению к цинку.

При рулонном способе прокатке цинка необходимо применять жидкие смазки, которые одновременно служат для охлаждения валков и ленты. Учитывая опыт работы цинкопрокатных заводов, рекомендуется применять следующие смазки, приведенные в таблице – 4.

5.1 ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОКАТКИ ЦИНКОВОЙ ФОЛЬГИ

На одном из заводов США применяется следующая схема производства цинка рулонным (ленточным) способом [12]. Отлитые в вертикальные изложницы слитки нагреваются до температуры 150–205°С. Слитки в горячем состоянии прокатывают на нереверсивном конвейерном двухвалковом стане диаметром 600 мм со скоростью 76 м/мин.

При горячей прокатке цинка обжатия в первых проходах составляют 10–12%, затем их постепенно повышают и после 8–11 проходов доводят до 45%.

Окончательная отделочная прокатка производится на нереверсивных двухвалковых станах с диаметром валков 400–450 мм и скоростью 150–165 м/мин.

Валки делают пустотелыми, чтобы их можно было нагреть паром в начальный момент и охладить водой в процессе прокатки (при непрерывной работе, особенно с повышенными скоростями, валки сильно нагреваются).

Схема обжатий при окончательной прокатке 2,5 – 1,25 – 0,60 – 0,30 мм. Обжатие за проход 50%.

По литературным данным [18] в Англии применяют две технологические схемы производства цинковых лент.

1-я схема. Слитки размером 83x700x1300 мм и весом 530 кг, отливают в горизонтальные изложницы, нагревают при температуре 140–200°C. Слитки в горячем состоянии прокатывают на двухвалковом стане 450x900 мм за 9 проходов по схеме: 83 – 79 – 75 – 71 – 67 – 55 – 43 – 35 – 29 – 25 с обжатием в первых проходах по 5–6%. Полученную заготовку толщиной 25 мм обрезают на ширину 670 мм и нагревают до температуры 60°C, после чего прокатывают на полосу толщиной 5 мм в 20 проходов с обжатием по 1 мм за проход.

Окончательная прокатка производится на нереверсивном двухвалковом стане 380x750 мм по схеме: 5 – 4,25 – 3,50 – 2,75 – 2,10 – 1,5 – 1,00 – 0,55 – 0,25 со скоростью 45–60 м/мин.

2-я схема. Нагретые до температуры 140-200°C слитки толщиной 50 мм обжимают на двухвалковом стане с диаметром 450x750 мм за 5–8 проходов на заготовку толщиной 1,8 мм. После этого заготовку прокатывают на двухвалковом нереверсивном стане диаметром 380x750 мм в 5–6 проходов на подогретых газовой горелкой валках, с 1,8 на заготовку толщиной 0,5 мм. На горячих валках холодные ленты быстро нагреваются до температуры 100°C и становятся пластичными. Одновременно прокатывают по 8–12 рулонов. Для получения необходимой твердости и прочности цинковую ленту на двух–трех последних проходах прокатывают на холодных стальных валках.

В Германии рулонная прокатка цинка осуществляется на двухвалковых станах [19].

Для достижения высокой производительности и получения хорошей поверхности горячая прокатка проводится в две стадии. Сначала слиток прокатывают на реверсивном стане дуо (для обеспечения лучшего захвата металла валками) с суммарным обжатием 50–60%, а затем на реверсивном четырехвалковом стане до толщины 3 мм.

Полосы после горячей прокатки в горячем состоянии должны быть свернуты в рулоны на специальной машине.

Чтобы облегчить разгиб и избежать растрескивания, цинковые рулоны перед холодной прокаткой необходимо нагреть до температуры 40–50°C в специальных проходных электрических печах с принудительной циркуляцией воздуха. Для этой цели могут быть использованы печи с применением инфракрасных лучей.

Холодная прокатка рулонным способом производится в два этапа: заготовительная прокатка с 4–6 на 2 мм и окончательная с 2 мм до выходных размеров. Заготовительную прокатку целесообразно производить на горячих чугунных валкахс обжатиями за проход 40–50%. При прокатке узких лент (шириной до 600 мм) может быть использован реверсивный двухвалковый стан.

На основании проведенных исследований и опытных прокаток рекомендуется следующие схемы обжатий при холодной прокатке: заготовительной прокатке 6 – 4 – 2 мм, холодной окончательной 2 – 1 – 0,5 – 0,3 мм.

При горячей и холодной прокатке цинка особое внимание необходимо уделять смазке и охлаждению валков с целью поддержания их температуры на определенном уровне.

При рулонном способе прокатки лучше всего применять жидкие смазки и эмульсии, которые одновременно служат и для охлаждения валков, поддерживая их температуру постоянной. Состав смазок приведен выше в таблице 4.

При прокатке тонких лент во избежание растрескивания кромок последнее обрезают.

При рулонном способе прокатки выход продукта выше на 10–13%, трудоемкость и стоимость обработки 1т готовой продукции в 4 раза ниже, чем при листовом, а себестоимость 1т листов меньше на 40–60 рублей.

5.2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФОЛЬГИ

В работе [3] описана опытная прокатка цинковой фольги. Для опытных прокаток был использован четырехвалковый стан, представленный на рисунке 9, с рабочими валками диаметром 275 мм, опорными валками диаметром 680 и 930 мм.

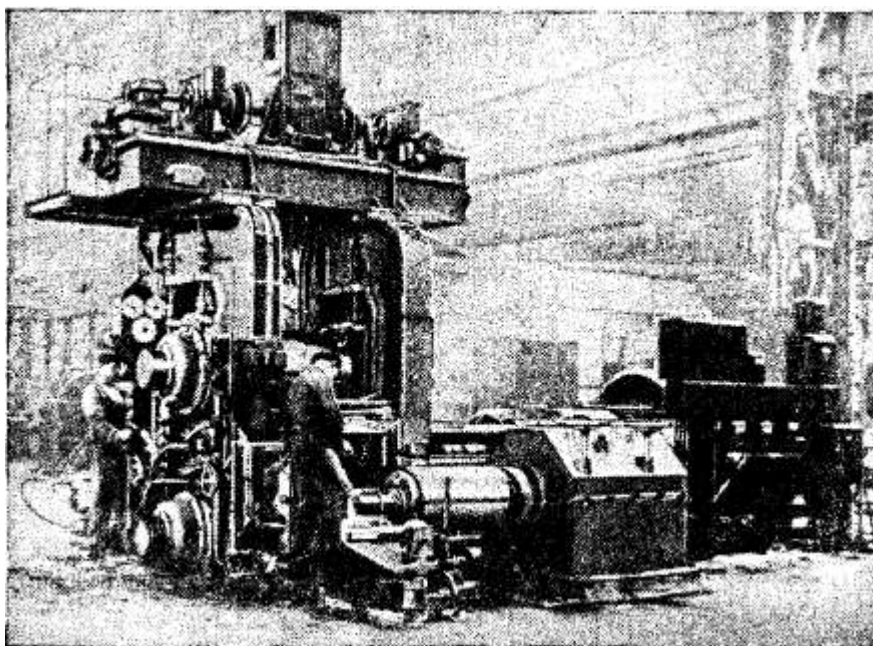


Рисунок 9 – Четырехвалковый стан 275х680х930

Опытная прокатка проводилась со скоростью 25 м/мин. Ленты прокатывались шириной 710 мм. При прокатке с 2,3 до 1 мм в качестве смазки использовали мыльный раствор. Для лент толщиной менее 1 мм при прокатке использовали машинное масло. Для прокатки высокосортных и чистых цинковых лент необходима правильная смазка поверхности лент с двух сторон. Данные по прокатке приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Силовые параметры при холодной прокатке цинка на реверсивном четырехвалковом стане 275x680x930

№ оп ыт а	Про- ходы	Ширина, мм	Толщина, мм	обжатие		Продол- житель- ность прокатки, сек	Давление металла на валки, т	Мощ- ность, л.с.
				мм	%			
1	-	710	2,3	-	-	-	-	-
	1	710	1,8	0,5	21,8	20,5	189	67,7
	2	710	1,2	0,6	33,3	30,5	225	88,0
	3	710	0,7	0,5	41,6	53,0	256	91,5
	4	710	0,35	0,35	50	105	244	74,5
	5	710	0,18	0,17	48,5	203	279	61,0
2	-	710	2,5	-	-	-	-	-
	1	710	1,8	0,7	28	22,4	179	74,5
	2	710	0,83	0,97	53,8	48,5	228	108
	3	710	0,43	0,40	48,2	94	285	91,5
	4	710	0,18	0,25	58,1	224	274	71,0
3	-	710	2,5	-	-	-	-	-
	1	710	1,55	0,95	38	26	224	108
	2	710	0,95	0,60	38,7	42,5	232	88
	3	710	0,50	0,45	47,4	81,0	256	84,5
	4	710	0,22	0,28	56	183	244	64,0

На основании проведенных испытаний можно отметить, что цинковые ленты обладают хорошей поверхностью и по сравнению с листами пакетной прокатки имеют более равномерную толщину сечения.

Были проведены также опыты прокатки цинка для определения влияния натяжения на давление металла на валки. Установлено, что давление при холодной прокатке благодаря натяжению может быть снижено до 60%.

Так же была проведена опытная прокатка на четырехвалковом стане 375/850x1500. Данные по прокатке приведены в таблице 6.

Для проката подавались рулоны цинковой ленты толщиной 4 мм с обрезанными кромками; на разматывающей машине, установленной перед станом, рулоны разматываются и после первого прохода лента принимается на барабан стана. Заготовительная прокатка производится с 4 до 1,2 мм в два прохода, окончательная с 1,2 на выходной размер 0,14 мм.

При прокатке тонких лент для предотвращения сильного растрескивания кромок перед окончательной прокаткой производится их обрезка.

Таблица 6 – Силовые параметры и режимы обжатий при холодной прокатке цинка на реверсивном четырехвалковом стане 375/850x1500 мм

№ оп ыт а	Ширина, мм	Толщина, мм	обжатие		Длина, мм	Ско- рость прокат- ки, м/сек	Давле- ние, т	Мощ- ность прокат- ки, кВт
			мм	%				
Производительность 6,5 т/час, расход электроэнергии 19,6 кВт-ч/т лент								
-	1050	4	-	-	24600	-	-	-
1	1050	2,4	1,6	40	41000	100	395	693
2	1050	1,2	1,2	50	82000	100	455	713
Производительность 7 т/час, расход электроэнергии 19,7 кВт-ч/т лент								
-	1020	1,2	-	-	82000	-	-	-
1	1020	0,6	0,6	50	164000	150	472	794
Производительность 2,5 т/час, расход электроэнергии 96 кВт-ч/т лент								
-	1020	1,2	-	-	82000	-	-	-
1	1020	0,6	0,6	50	164000	150	472	794
2	1020	0,3	0,3	50	328000	150	440	552
3	1020	0,14	0,16	53,5	700000	150	510	331

Цинковая фольга применяется для различных целей, фольга толщиной 0,05—0,07 мм из цинка марки ЦО идет на изготовление электродов. В Германии фольгу прокатывали из цинка высокой чистоты [12]. В США и Великобритании для этих целей используется цинк высокой чистоты с небольшой добавкой марганца (0,03—0,05%). Марганец вводится для замедления рекристаллизации и роста зерен, придающих хрупкость фольге.

Фольгу прокатывают листовым пакетным и рулонным способами.

Оборудование для прокатки цинковой фольги рулонным способом почти такое же, как и при производстве алюминиевой фольги. Но оно несколько мощнее из-за более высокого сопротивления цинка пластической деформации.

В связи с малым сопротивлением ползучести требуется более тщательный контроль и более точное регулирование натяжения.

На последнем проходе прокатывают сдвоенную фольгу. В результате с одной стороны она получается блестящая, с другой — матовая.

6. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-НЕКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ

Для прокатки МН19 используют слитки с массой до 2700 кг и размерами 135x710x3000/3500. Способ литья — вертикальное полунепрерывное литье.

Перед прокаткой слитки нагревают. Для нагрева используют одно- и двурядные пламенные печи с толкателями и печи с шагающим подом.

Далее идет горячая прокатка, затем холодная на заготовительных станах дуо и кварто до 6 мм, после окончательная прокатка до заданной величины.

6.1 СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ

В работе [8] проанализированы процессы прокатки общего вида, разработана программа расчета оптимальных по разным критериям режимов деформации. Программа включает систему уравнений и неравенств (ограничений): по усилию деформации – $0 \leq P < P_{\max}$; удельным натяжениям – $\sigma_0 \min \leq \sigma_0 \leq \sigma_0 \max$; $\sigma_1 \min \leq \sigma_1 \leq \sigma_1 \max$; крутящим моментам на валках – $|M_B| \leq M_B \max$; мощности привода валков – $|N_B| \leq N_B \max$ и моталок – $N_M \leq N_M \max$; радиальному сплющиванию валков на участках их возможного контакта – $\Delta R \leq \Delta R \max$. Минимальные удельные натяжения задавались из соображений устойчивого положения полосы относительно бочки валков, а максимальные из соображений прочности заднего и переднего концов полосы (далее в расчетах минимальные удельные натяжения приняты равными 10%, а максимальные 30% от сопротивления материала пластической деформации).

В качестве независимых управляемых (варьируемых) параметров при прокатке общего вида использовали относительное удельное давление заднее натяжение и относительные координаты критических сечений. В качестве целевой функции – толщина полосы после каждого прохода ($h_1 - \min$). В таблице 8 и рисунке 10 приведены результаты расчета режимов деформации для различных вариантов прокатки общего вида в условиях двухвалкового стана с диаметром рабочих валков 230 мм и длиной бочки 400 мм, характеристика которого приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристика стана Дуо 230

Допустимое давление	800 кН
Мощность моталки	100 кВт
Крутящий момент на валках	6 кНм
Максимальная скорость прокатки	до 3 м/с

Таблица 8 – режимы деформации на первом и втором этапах

№	Способ	Толщины полосы после прохода, мм										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ПВ	1,52	1,33	1,16	1	0,87	0,74	0,61	0,52	0,43	0,36	0,30
	СП	1,57	1,23	0,95	0,72	0,54	0,39	0,30				
	ПОВ	1,47	1,13	0,85	0,62	0,43	0,30					
2	ПВ	0,21	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06			
	СП	0,19	0,12	0,08	0,06							
	ПОВ	0,12	0,06									

Исходная полоса имела толщину 2 мм и ширину 300 мм. Моделировались режимы деформации при прокатке с толщины 2 мм до минимально возможного значения за три этапа: 2мм \rightarrow 0,3мм, 0,3мм \rightarrow 0,06мм, 0,06мм \rightarrow h_{min} . После первого и второго этапов предусматриваются отжиг полосы для восстановления пластичности материала.

Преимущество прокатки общего вида, в данном случае выражающиеся в сокращении числа проходов, объясняются более полным использованием возможностей оборудования. При симметричной прокатки максимально использованы возможности стана лишь по давлению, при процессе прокатки-волочение по крутящим моментам лишь в 6 из 11 проходов, а при прокатке общего вида по давлению и крутящим моментам на валках во всех проходах.

Результаты моделирования режимов деформации на третьем этапе, предусматривающем получение минимально-возможной полосы, представлены на рисунке 10.

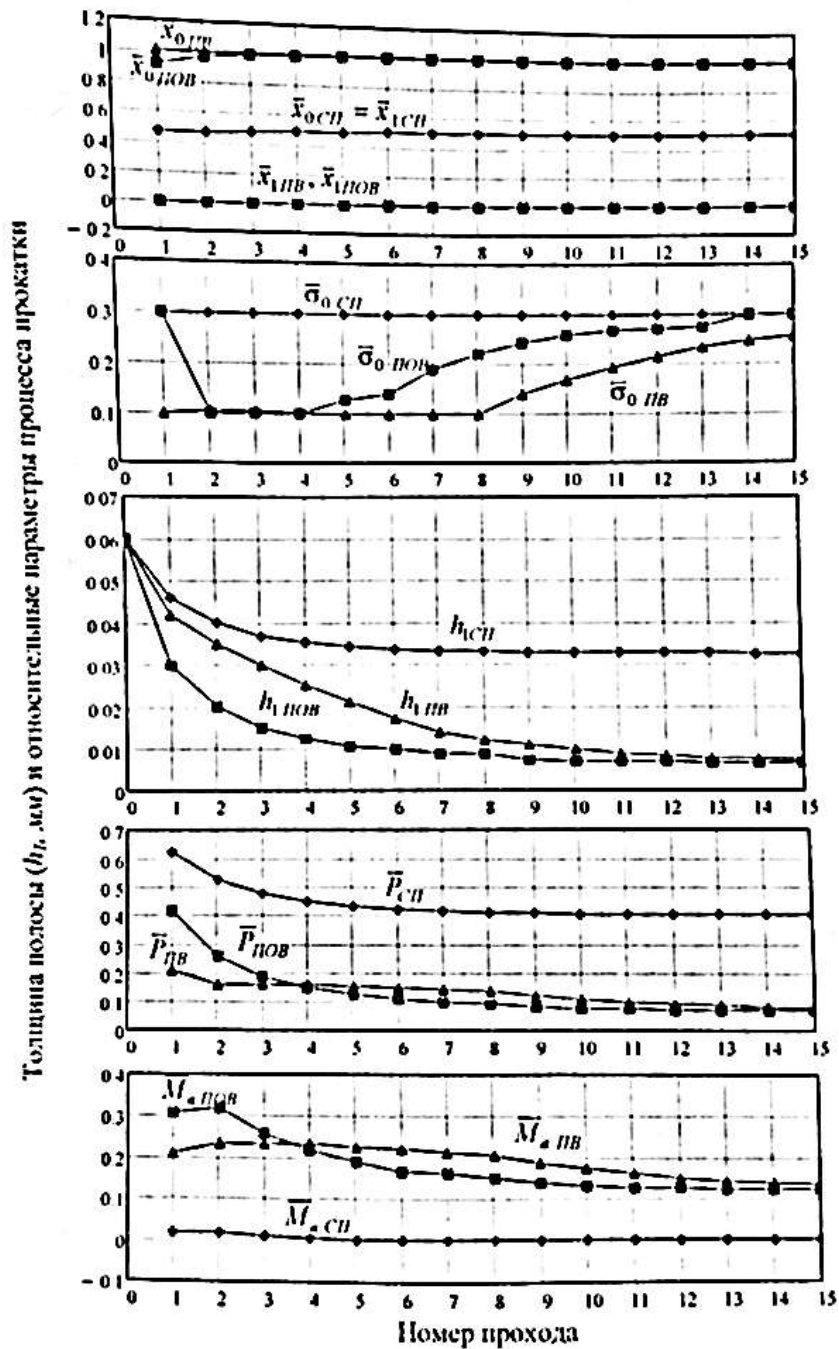


Рисунок 10 – режимы деформации при прокатке на минимальную толщину

При симметричной прокатке, начиная с седьмого прохода, толщина полосы практически не снижалась и составляла порядка 0,03 мм. При процессе прокатка-волочение за это же число проходов была достигнута толщина порядка 0,015 мм, а при прокатке общего вида – 0,010 мм. При прокатке общего вида, начиная с девятого прохода, толщина стабилизировалась, достигнув 0,007 мм, а при процессе прокатка-волочение

продолжала экспоненциально приближаться к 0, 007 мм вплоть до 15-го прохода. Возможность прокатки до меньших толщин при симметричной прокатке ограничилась контактом валков по краям бочки. При процессе прокатка-волочение и прокатки общего вида такая проблема не возникла. Рисунок 10 также дает представление о динамике изменения управляющих параметров и структуре очага деформации, обеспечивающих максимальную деформацию в каждом проходе.

Анализ характера изменения управляющих параметров по проходам свидетельствуют о том, что по мере увеличения толщины полосы режимы деформации прокатки общего вида приближаются к режимам симметричной прокатки, а при уменьшении толщины – к режимам процесса прокатка-волочение.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ПОВРХНОСТИ ФОЛЬГИ

К фольге предъявляют следующие требования [5]:

На фольге не должно быть недокатов и перекатов. Для этого нужно следить за обжатием фольги при прокатке, шлифовкой валков и за подбором состава смазки.

На фольге не должно быть вытянутой кромки. Она может появиться в результате перекоса валков, при нарушении режима охлаждения валков по длине бочки.

На фольге не должно быть зарезов (складок). Для этого нужно следить за обжатием и натяжением ленты.

На фольге не должно быть морщин. Они могут возникнуть вследствие перекоса оси моталки по отношению к валкам, от эксцентричной установки шпули, от перекоса накладного ролика и неудовлетворительной шлифовки валков.

На фольге не должно быть смещения витков. Для этого нужно следить за креплением шпули на моталках.

На фольге не должно быть обрывов. Для этого нужно следить за натяжением и за равномерной подачей смазки.

На фольге не должно быть отпечатков. Они могут образоваться при попадании пыли, песчинок, грязной смазки на поверхность валков.

На фольге не должно быть дырчатости, или сквозных отверстий. Они могут быть литейного и прокатного происхождения.

8. СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Сварка цветных металлов и их сплавов, несмотря на более низкие температуры плавления, не так проста, как кажется на первый взгляд. Все цветные металлы и их сплавы обладают повышенной химической активностью при контакте с кислородом и покрыты оксидной пленкой, препятствующей качественному соединению деталей. При простом нагревании в воздушной среде химическая активность многократно возрастает и вместо сварного шва можно получить оплавленные края с толстым слоем оксидных пленок. Схема сварки цветных металлов и сплавов представлено на рисунке 11.

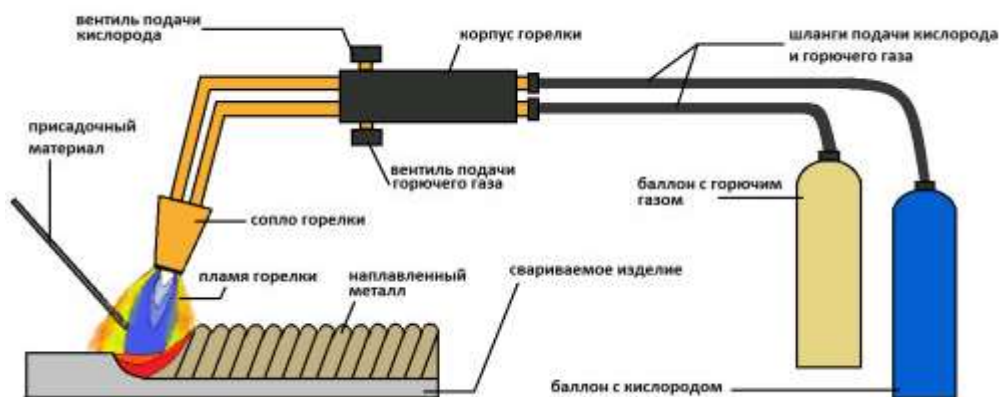


Рисунок 11 – Схема газовой сварки цветных металлов

Перед началом работ детали необходимо подготовить. Поверхность в местах сварки необходимо зачистить металлической щеткой или шабером для удаления оксидной пленки, затем промыть в бензине или растворителе для удаления жиров. Из-за большой текучести сварку лучше проводить в нижнем положении. Детали необходимо зафиксировать, чтобы ширина шва не превышала двух миллиметров. Можно предварительно сделать прихватывающие соединения, а затем выполнить полную обварку.

Сварку необходимо проводить в среде инертных газов, защищающих сварочную ванночку от контакта с воздушной средой, как это показано на рисунке 12. Наиболее эффективным является азот, но можно использовать гелий, аргон и их смеси. Для создания дуги можно использовать угольные, графитовые и вольфрамовые электроды. Угольные электроды можно использовать для сварки неответственных деталей небольших размеров. В остальных случаях нужно использовать вольфрамовые или графитовые электроды. Проволоку для сварки перед работой необходимо тоже протравить в растворе азотной кислоты или смеси соляной и серной кислоты.

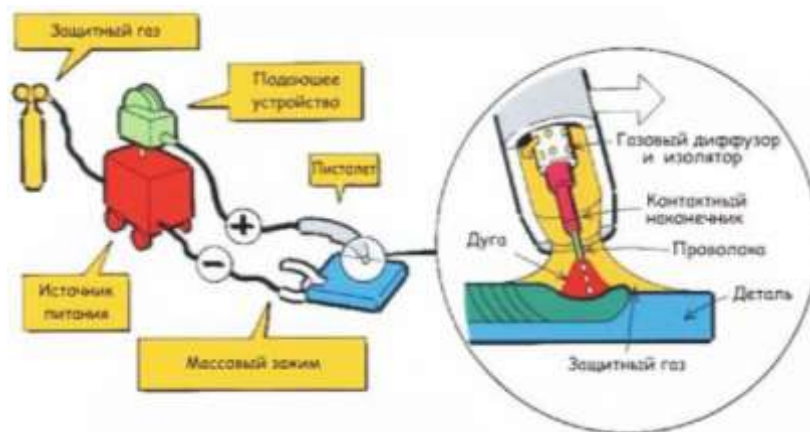


Рисунок 12 – Схема сварки в среде инертного газа

Еще в Советском Союзе для аргоно-дуговой сварки рулонов заготовок толщиной 5–6 мм и лент толщиной 2,8–3,5 мм из медно-никелевых сплавов разработаны и внедрены специализированные линии сварки [3]. Пример такой установки приведен на рисунке 13.

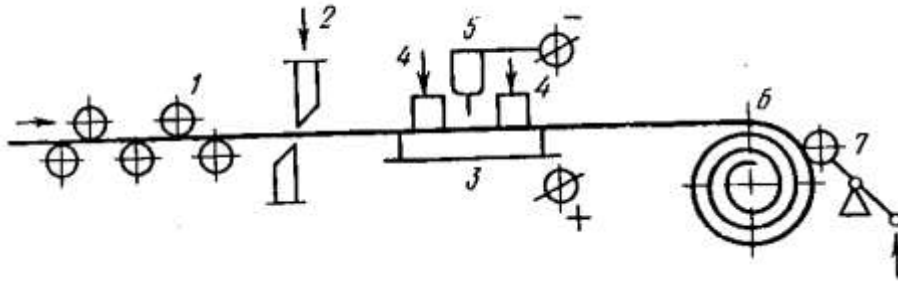


Рисунок 13 – Схема линии для аргоно-дуговой сварки:

- 1 – правильный станок; 2 – гильотинные ножницы; 3 – стол, на котором производится сварка; 4 – пневмоприжим; 5 – установка для сварки;
- 6 – намоточное устройство; 7 – роликовый прижим

Линия состоит из правильной машины, гильотинных ножниц с пневматическим приводом сварочной установки с трактором АДСВ-2, намоточного устройства с роликовым прижимом и сбрасывателем рулонов. Диаметр вольфрамового электрода 3–4 мм, напряжение дуги 6–10 В, сварочный ток 210–240 А. Скорость сварки составляет 3,5–5,0 м/ч, расход аргона 8–10 л/мин.

Для сварки свинца применяют водородно-кислородное, ацетилено-воздушное, ацетилено-кислородное пламя, а также газы-заменители ацетилена: пропан-бутан, городской газ, природный газ, пары бензина и керосина. Листы толщиной до 1,5 мм сваривают встык с отбортовкой без присадочного материала. Листы толщиной до 6 мм сваривают встык без скоса кромок, при большей толщине применяют односторонний скос кромок под углом 30–35°. Применяют также соединения внахлестку. В качестве присадочного прутка используют проволоку или полосу свинца. Диаметр прутка выбирают равным $2—2,5\delta$, где δ — толщина свариваемого металла.

Пламя не должно иметь избытка кислорода. При сварке листов мощность пламени равна 5–10 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Скорость сварки следует поддерживать максимально возможной ($15/\delta— 30/\delta$

м/ч). Сварку ведут в нижнем или вертикальном положении. Применяют способ сварки отдельными ванночками. При толщине металла свыше 8 мм применяют многослойную сварку. Для лучшего оплавления металла и удаления пленки окиси свинца рекомендуется применять флюс из равных частей канифоли и стеарина. При сварке внахлестку верхнюю кромку слегка отгибают и используют ее как присадочный материал. При малых толщинах применяют ацетилено-воздушное пламя.

Для предупреждения вытекания металла при сварке свинца в положениях, отличных от нижнего, рекомендуется использовать формирующие полоски из стали, располагаемые вдоль шва, или стальные дугообразные формочки, передвигаемые по шву в процессе заполнения его металлом. Эти формочки (так называемые кристаллизаторы или холодильники) ускоряют охлаждение металла шва и облегчают его формирование [20].

9. РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ

При прокатке металлов и сплавов в холодном состоянии очень важно установить суммарную степень деформации за один цикл прокатки. Для этой цели можно воспользоваться как диаграммой пластичности, так и результатами моделирования процесса [3].

9.1 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ СВИНЦОВОЙ ФОЛЬГИ

На основании анализа технологии получения свинцовой фольги в работах [5,10] планируется следующий режим деформаций:

$$4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 0,5 \rightarrow 0,25 \rightarrow 0,12 \rightarrow 0,05 \rightarrow 0,025 \text{ мм.}$$

Как видно из приведенной схемы режимов деформаций, степень деформации в каждом проходе равна 50%. Свинец марки С1 позволяет осуществлять значительные деформации за проход (степень деформации до 70% [21]). Прокатку можно осуществлять на двухвалком стане с диаметром

валков 230 мм. Ранее была осуществлена опытная прокатка на стане ХПЛ-200 ЮУрГУ [10].

9.2 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ ЦИНКОЙ ФОЛЬГИ

Цинк рекристаллизуется при комнатной (или близкой к комнатной) температуре. Поэтому для цинка нет ярко выраженной границы между горячей и холодной прокаткой, так как в процессе холодной прокатки одновременно происходит упрочнение и рекристаллизация цинка [8].

В процессе пластической деформации цинка при холодной прокатке наряду с упрочнением одновременно происходит и его разупрочнение. Особенно это заметно при высоких частых деформациях. Такое поведение цинка объясняется его низкой температурой рекристаллизации. Разупрочнение цинка при холодной прокатке происходит в результате возврата и частичной рекристаллизации. Явление возврата заключается в возвращении атомов к местам своего устойчивого равновесия, что снимет остаточные напряжения и восстанавливает в значительной мере механические и физико-химические свойства. Явление рекристаллизации, основанное на интенсивном обмене атомов решетки, местами изменяет величину и форму деформированных зерен. Рекристаллизация уничтожает результаты упрочнения [22].

Цинк при холодной прокатке практически не наклепывается, что объясняют низкой температурой рекристаллизации, лежащей около 20 °С. На пластичность цинка сильно влияют примеси, железо и олово снижают его пластичность. В цинке должно быть не более 0,02 % Fe и не более 0,05 % Sn. Цинк отливают в плоские слитки, которые прокатывают в горячем состоянии. Температура нагрева слитков перед горячей прокаткой не должна превышать 150—180 °С; при 250 °С пластичность цинка резко снижается. На рисунке 14 представлена зависимость механических свойств цинка от степени деформации.

Для прокатки цинковых лент и полос предлагается применять двух- и четырехвалковые станы [7]. На основании изученной литературы, для прокатки цинковой фольги планируется следующий режим деформаций:

$$3 \rightarrow 2,3 \rightarrow 1,8 \rightarrow 1,2 \rightarrow 0,7 \rightarrow 0,35 \rightarrow 0,18 \rightarrow 0,1 \rightarrow 0,05 \text{ мм}$$

с промежуточным отжигом для восстановления пластичности материала.

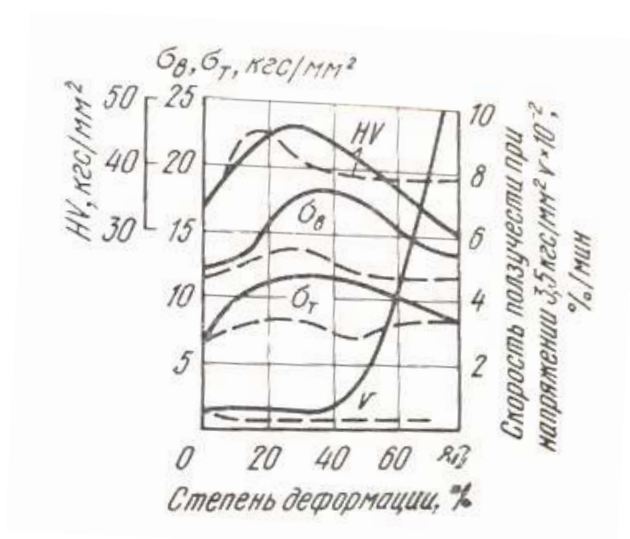


Рисунок 14 – Изменение механических свойств цинка с увеличением степени деформации

9.3 РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ДЕФОРМАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ ФОЛЬГИ

В качестве медно-никелевого сплава используется мельхиор МН19. Мельхиоры — это двойные и более сложные сплавы на основе меди, в которые в качестве основного легирующего компонента вводится никель. Никель значительно повышает прочность меди. На рисунке 15 представлена зависимость механических свойств мельхиора МН19 от степени деформации [23].

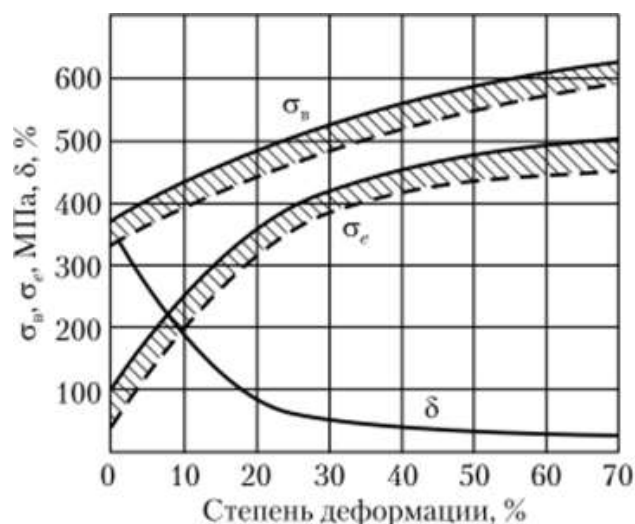


Рисунок 15 – Изменение механических свойств сплавов МН19 с увеличением степени деформации

На основании анализа технологии получения медно-никелевой фольги в работе [8,3] планируется следующий режим деформаций:

$$3 \rightarrow 2,5 \rightarrow 1,8 \rightarrow 1,47 \rightarrow 1,13 \rightarrow 0,85 \rightarrow 0,62 \rightarrow 0,43 \rightarrow 0,30 \rightarrow 0,12 \rightarrow 0,06$$

мм.

Прокатка будет осуществляться симметричной прокаткой. Так же должен проводиться промежуточный отжиг полосы для восстановления пластичности материала.

10. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ФОЛЬГИ

Расчет энергосиловых параметров требуется при выборе компоновки валкового узла и выборе типа стана, а также для определения надежности и долговечности работы различных его элементов и узлов, определения режимов деформации, расчета производительности стана и в целом для оценки эффективности того или иного способа прокатки [24].

Расчет энергосиловых параметров целесообразно проводить с использованием ЭВМ. На рисунке 16 приведена, разработанная в данном проекте, блок-схема алгоритма расчета энергосиловых параметров.

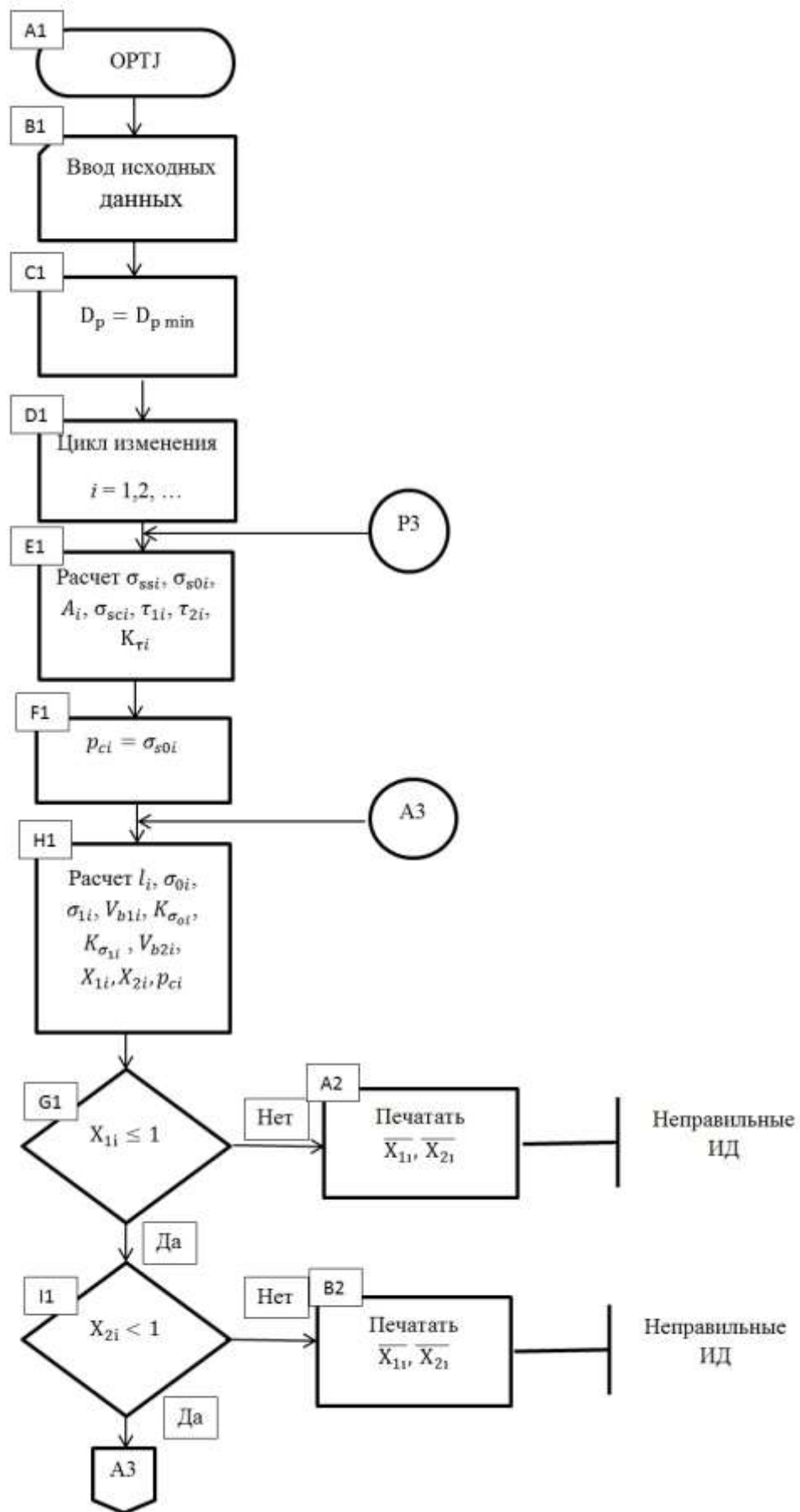
Блок-схема – распространенный тип схем (графических моделей), описывающих алгоритмы или процессы, в которых отдельные шаги

изображаются в виде блоков различной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности. Правила выполнения регламентируются ГОСТ 19.701-90 "Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения". Стандарт в частности регулирует способы построения схем и внешний вид их элементов.

Для расчета разработанной блок – схемы была использована программа MATLAB [25].

Алгоритм рассчитан для определения энергосиловых параметров по проходам при холодной прокатке по заданным режимам обжатий, натяжений, рассогласовании скоростей рабочих валков и различных диаметрах рабочих валков. При симметричных геометрических, физических и кинематических параметрах следует принять $K_R = 1$, $K_V = 1$, $K_\tau = 1$.

Расчет начинается с первого прохода. Вычисляются значения геометрических, кинематических и энергосиловых параметров прокатки. Расчеты выполняются методом итераций. Итерационный процесс используется для расчета удельных давлений [24].



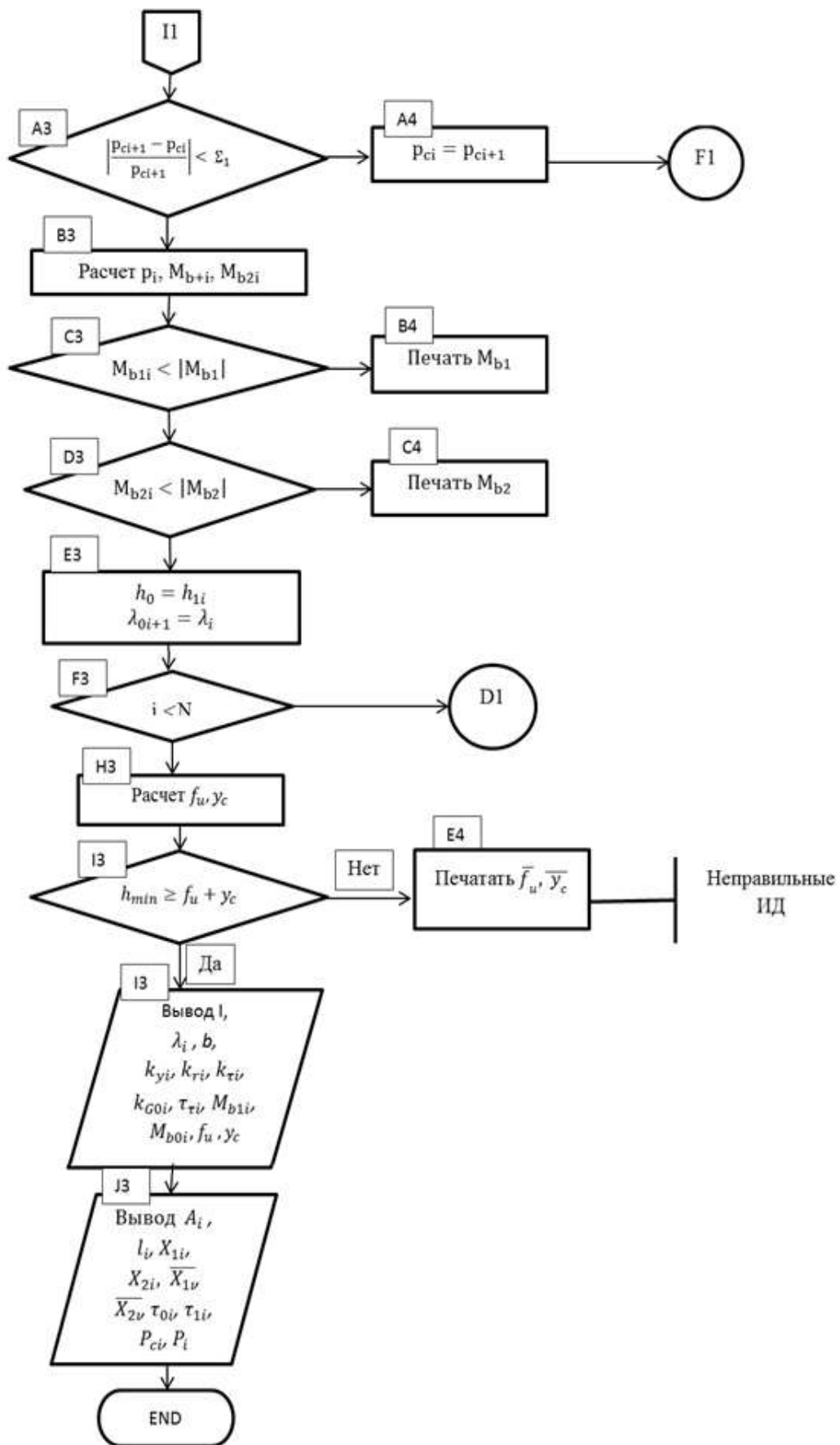


Рисунок 16 – Блок-схема алгоритма

C1 Блок

$$D_p = D_{p \max} \quad (1.1)$$

Мах допустимый диаметр рабочих валков [24]:

$$D_{\max} \leq \frac{0,26h_{\min}E_B}{f_i\lambda(1-\nu^2)(\sigma_{sci}-\sigma_{hi})}, \text{ мм} \quad (1.2)$$

где h_{\min} – минимальная толщина полосы в сортаменте;

f_i – коэффициент трения в очаге деформации;

λ – вытяжка полосы в последнем проходе;

σ_{sci} – среднее по очагу деформации сопротивление деформации материала полосы;

σ_{hi} – среднее натяжение полосы;

E_B – модуль упругости материала валка;

ν – коэффициент Пуассона.

В выражении (1.1) σ_{sc} и σ_n равны [24]:

$$\sigma_{sci} = 0,5(\sigma_{s0} + \sigma_{s1}), \text{ кгс/мм}^2 \quad (1.3)$$

$$\sigma_{hi} = 0,5(\sigma_0 + \sigma_1), \text{ кгс/мм}^2 \quad (1.4)$$

Здесь σ_{s0}, σ_{s1} – сопротивление деформации материала полосы до и после последнего прохода;

σ_0, σ_1 – удельные заднее и переднее натяжения полосы.

E1 Блок

Сопротивление металла пластической деформации на выходе и входе в валки, а также коэффициент, характеризующий интенсивность упрочнения металла [24]:

$$\sigma_{s1i} = \sigma_{s00} + \alpha \left(\frac{\lambda \lambda_0 - 1}{\lambda \lambda_0} 100 \right)^n, \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.1)$$

$$\sigma_{s0i} = \sigma_{s00} + \alpha \left(\frac{\lambda_0 - 1}{\lambda_0} 100 \right)^n, \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.2)$$

$$Ai = \frac{\sigma_{s1i} - \sigma_{s0i}}{\sigma_{s0i}} \left(\frac{\lambda - 1}{\lambda} \right), \quad (2.3)$$

где σ_{s00} – сопротивление металла пластической деформации в наклепанном (отожженном) состоянии;

α, n – коэффициенты, определяемые по кривой упрочнения;

$\lambda \lambda_0$ – коэффициенты вытяжки в рассматриваемом проходе, а также на предыдущих стадиях обработки металла (для материалов, прошедших термообработку, следует принять $\lambda_0=1$) [24].

$$\lambda = \frac{h_0}{h_1}, \text{ мм} \quad (2.4)$$

где h_1, h_0 – толщина полосы на выходе и входе в волки.

Среднее по очагу деформации сопротивление пластической деформации материала полосы [24]:

$$\sigma_{sci} = \frac{(\sigma_{s0i} + \sigma_{s1i})}{2}, \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.5)$$

Сила трения на контактных поверхностях в очаге деформации по закону Зибеля [24]:

$$\tau_i = f_i \sigma_{sci}, \text{ Н} \quad (2.6)$$

где f_i – коэффициент трения на контактных поверхностях в очаге деформации.

Отношение удельных сил трения [24]:

$$K_{\tau i} = \frac{\tau_{1i}}{\tau_{0i}} \quad (2.7)$$

F1 Блок

$$p_{ci} = \sigma_{s0i} \quad (3.1)$$

H1 Блок

Длина очага деформации с учетом сплющивания валков и разных их диаметров [26]:

$$l_c = \frac{16\alpha R(\theta_B + \theta_H)P_{ci}}{1+K_{Ri}} + \sqrt{\frac{2RK_{Ri}(\lambda-1)h_1}{1+K_{Ri}} + \left(\frac{16\alpha R(\theta_B + \theta_H)P_{ci}}{1+K_{Ri}}\right)^2}, \text{ мм} \quad (4.1)$$

где α – коэффициент, учитывающий характер эпюры удельных давлений;

θ_B – упругая постоянная валка;

θ_H – упругая постоянная полосы;

R – радиус валка рабочего;

K_{Ri} – отношение радиусов рабочих валков.

Удельное заднее натяжение: σ_{0i}

Удельное переднее натяжение [2]:

$$\sigma_{1i} = \sigma_{0i} + 1,15\sigma_{s00} \left((1 + A_i)\ln\lambda - A_i \frac{\lambda-1}{\lambda} \right) + \frac{l_c}{h_1 \ln\lambda} \left(\tau_{1i} \left(1 + \frac{1}{\lambda} - \frac{2}{\lambda^{x_{\gamma 1i}/l_{ci}}} \right) + \tau_{0i} \left(1 + \frac{1}{\lambda} - \frac{2}{\lambda^{x_{\gamma 0i}/l_{ci}}} \right) \right), \text{ кгс/мм}^2 \quad (4.2)$$

где A_i – коэффициент, характеризующий упрочнение полосы;

h_1 – толщина полосы на выходе из валков;

τ_{0i}, τ_{1i} – удельные силы трения на рабочих валках, вращающихся с большей и меньшей окружными скоростями;

$x_{\gamma 0i}, x_{\gamma 1i}$ – длина зоны опережения на ведущем и ведомом валках.

Окружная скорость валков [24]:

$$V_{B1i} = \frac{V_{1i} h_1 \ln \lambda \left(1,15 \sigma_{s0i} \left((1+A_i) \ln \lambda - A_i \frac{\lambda-1}{\lambda} \right) + \sigma_{0i} - \sigma_{1i} \right) + \frac{l_{ci} (\lambda+1) (1+K_{\tau i}) \tau_{1i}}{\lambda}}{2 l_{ci} \tau_{1i} \left(1 + \frac{K_{\tau i}}{K_{V i}} \right)}, \text{ мм/с}$$

$$V_{B1i} = V_{B0i} \quad (4.3)$$

$$\frac{V_{B1}}{V_1} = \frac{h_1 \ln \lambda}{2 l_c \tau_1 \left(1 + \frac{K_{\tau}}{K_V} \right)} \left(1,15 \sigma_{s0} \left((1+A) \ln \lambda - A \frac{\lambda-1}{\lambda} \right) + \sigma_0 - \sigma_1 \right) + \frac{(\lambda+1) (1+K_{\tau})}{2 \left(1 + \frac{K_{\tau}}{K_V} \right) \lambda} \quad (4.4)$$

Отношение окружных скоростей валков [2]:

$$K_V = \frac{V_{B1}}{V_{B0}} \quad (4.5)$$

Отношение сопротивления металла пластической деформации [24]:

$$K_{\sigma 0} = \frac{\sigma_{0i}}{\sigma_{s0i}}, K_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{s1i}} \quad (4.6)$$

Длина зоны опережения на ведущем и ведомом валках, соответственно [2]:

$$x_{1i} = l_{ci} \frac{\ln \left(\frac{V_{1i}}{V_{B1i}} \right)}{\ln \lambda}, \text{ мм}$$

$$x_{1i} = x_{0i} \text{ (при } K_V = 1) \quad (4.7)$$

G1, II Блоки

Если $x_{1i} \leq 1$, а $x_{0i} < 1$, то значения верные, если нет, то нужно изменить обжатие и произвести расчет заново [24].

$$p_{ci} = 1,15\sigma_{s0} \left(1 + 2A_i - 2A_i \frac{\lambda-1}{\lambda \ln \lambda} - 0,5(1 + A_i) \ln \lambda \right) + \frac{l_{ci}\tau_i}{h_0 \ln^2 \lambda} \left(\frac{2\lambda V_{B1} \ln \lambda}{l_{ci} V_1} \left(\frac{x_{0i}}{K_V} K_\tau + x_{1i} \right) - (1 + K_\tau) \ln \lambda + \frac{2\lambda V_{B1}}{V_1} \left(1 + \frac{K_\tau}{K_V} \right) - (1 + K_\tau)(\lambda + 1) \right) - \sigma_0, \text{ Н} \quad (4.8)$$

Сравнить (4.6) с (3.1).

А3 Блок

Сравниваем новое значение P_{ci} с заданным значением [24]:

$$\left| \frac{p_{ci+1} - p_{ci}}{p_{ci+1}} \right| < \varepsilon_p \quad (4.9)$$

А4 Блок

Если условие не выполняется, то [24]:

$$p_{ci+1} = p_{ci}$$

При не выполнении условия формулы (4.7) производится повторный расчет.

В3 Блок

Усилие прокатки [24]:

$$P_i = p_{ci} l_{ci} b, \text{ Н} \quad (5.1)$$

где b – ширина полосы.

Крутящий момент [24]:

$$M_{1i} = \tau_{1i} b R_1 (l_{ci} - 2x_{\gamma 1i}), \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{1i} = M_{0i} \quad (5.2)$$

С3, Д3 Блок

Должно соблюдаться условие [24]: $M_{b1i} < |M_{b1}|$

Е3 Блок

$$h_0 = h_{1i} \quad (6.1)$$

$$\lambda_{0i+1} = \lambda_i \quad (6.2)$$

Блок

Должно соблюдаться условие изгиба валков, которое представлено на рисунке 17 [24]:

$$h_{min} \geq 2f_u + 2y_c, \text{ мм} \quad (7.1)$$

где f_u – суммарная разность прогибов в середине и у края бочки ведущего и ведомого валков;

y_c – суммарная радиальная деформация ведущего и ведомого валков в очаге деформации;

Величина суммарных упругих деформаций валков должна быть меньше толщины фольги на выходе из очага деформации. В противном случае прокатка практически невозможна, так как для того, чтобы сдеформировать фольгу необходимо преодолеть упругую деформацию валков на краях бочек. В общем случае резко возрастает усилие прокатки и достигает максимально возможного на стане.

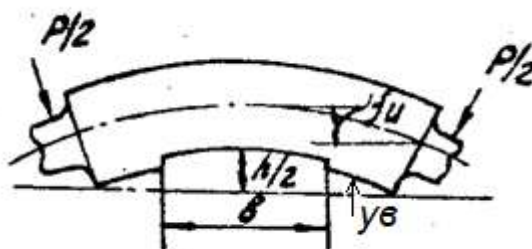


Рисунок 17 – Схема контакта валков на края бочек

Если условие не соблюдается, то нужно уменьшить величину вытяжки.

Для стана дуо:

Величина f_{ui} определяется по выражению [24]:

$$f_{ui} = \frac{P_{bi}}{18,8ED_i^4} \left(12 \frac{aL^2}{b} - \frac{8L^3}{b} + b^2 \right) + \frac{1}{\pi GD_i^2} \left(\frac{L}{b} - 0,5 \right), \text{ мм} \quad (7.2)$$

где P_{bi} – погонное усилие прокатки ($P_{bi} = P_i/b$);

D_i – диаметр рабочего валка;

E – модуль упругости материала валков.

Суммарная деформация валков в очаге деформации определяется по формуле [24]:

$$y_{ci} = 2 \frac{1-\nu_i^2}{\pi E_b} \frac{P_i}{b} \left(\ln \frac{D}{l_{ci}} + 0,407 \right), \text{ мм} \quad (7.3)$$

где ν_i – коэффициент Пуассона.

Расчеты показывают, что стан Дуо-230 позволяет прокатывать свинцовую фольгу без превышения допустимых усилия прокатки и крутящих моментов на валках.

Данные по расчетам свинцовой фольги приведены ниже в таблицах 9 – 12:

Таблица 9 – Расчеты блока F1

Проход	1	2	3	4	5	6	7
P_{ci} , Н/мм ²	22,1	24,8	27,5	29,3	22,8	3,02	4,03

Таблица 10 – Расчеты блока Н1

Проход	1	2	3	4	5	6	7
l_c , мм	15,16	10,72	7,58	5,36	4,42	2,14	1,32
σ_{1i} , кгс/мм ²	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
σ_{0i} , кгс/мм ²	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
$\frac{V_{B1}}{V_1}$, мм/с	0,93	0,88	0,84	0,81	0,73	0,76	0,82
X_i , мм	1,54	1,99	1,89	1,59	1,23	0,79	0,54

Таблица 11 – Расчеты блока В3

Проход	1	2	3	4	5	6	7
P_i , Н	100557,6	79831,7	62591,6	47120,4	30195,9	1945,18	29135
M_i , Н·мм	625727,6	348073,2	196438	113092,1	10103,9	29674,1	12213,1

Таблица 12 – Расчеты блока Н3

Проход	1	2	3	4	5	6	7
$f_{ui} \cdot 10^{-8}$, мм	7,1	5,7	4,5	3,4	2,2	2	1,9
$U_{ci} \cdot 10^{-3}$, мм	2,89	2,55	2,19	1,81	1,21	1,09	1,03

Данные по расчетам цинковой фольги приведены ниже в таблицах 13 – 16. Величина предела текучести для каждого прохода представлена на

рисунке 11. Значение берется в соответствии с деформацией в данном проходе.

Таблица 13 – Расчеты блока F1

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{ci} , Н/мм ²	26,7	28,5	27,0	27,4	26,9	27,8	23,6	10,2

Таблица 14 – Расчеты блока H1

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8
l_c , мм	8,97	7,58	8,3	7,58	6,34	4,42	3,03	2,39
σ_{1i} , кгс/мм ²	1,12	1,12	1,02	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
σ_{0i} , кгс/мм ²	1,12	1,12	1,02	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
$\frac{V_{B1}}{V_1}$, мм/с	0,94	0,93	0,90	0,87	0,83	0,81	0,81	0,78
X_i , мм	2,26	2,17	2,12	1,98	1,75	1,41	1,08	0,86

Таблица 15 – Расчеты блока B3

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i , Н	72052	65015	67357	62339	51282	36949	21538	7331
M_i , Н·мм	230773	217995	210255	187563	147444	82846	44757	34574

Таблица 16 – Расчеты блока НЗ

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{ui} \cdot 10^{-8}$, мм	5,1	4,6	4,8	4,4	3,7	2,7	1,6	5,7
$У_{ci} \cdot 10^{-3}$, мм	2,4	2,3	2,3	2,2	1,9	1,5	0,9	0,3

Данные по расчетам медно-никелевой фольги приведены ниже в таблицах 17 – 20. Величина предела текучести для каждого прохода представлена на рисунке 12. Значение берется в соответствии с деформацией в данном проходе.

Таблица 17 – Расчеты блока F1

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_{ci} , Н/мм ²	23,9	14,8	17,6	16,3	16,7	16,9	16,7	16,2	8,6	8,5

Таблица 18 – Расчеты блока Н1

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_c , мм	7,6	8,97	6,16	6,25	5,67	5,14	4,67	3,87	4,54	3,5
σ_{1i} , кгс/мм ²	1,65	2,25	2,45	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
σ_{0i} , кгс/мм ²	1,65	2,25	2,45	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$\frac{V_{B1}}{V_1}$, мм/с	0,95	0,92	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,76	0,74
X_i , мм	2,21	2,21	1,99	1,97	1,86	1,73	1,6	1,4	1,34	0,93

Таблица 19 – Расчеты блока В3

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_i , кН	54,6	39,9	32,6	30,5	28,5	26	23	18,7	11,8	10,6
M_i , кН·мм	163,3	135,5	112,1	119,2	101,4	86,9	76,1	55,1	96,8	43,9

Таблица 20 – Расчеты блока Н3

Проход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{ui} \cdot 10^{-8}$, мм	3,9	2,9	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,4	1,3	1,0
$U_{ci} \cdot 10^{-3}$, мм	1,9	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3

11. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ВАЛКОВ И КОМПОНОВКА ВАЛКОВОГО УЗЛА

При выборе схемы валкового узла и его параметров руководствуются необходимостью получения требуемой минимальной толщины полос из планируемого сортамента с заданной производительностью и требуемым качеством [24].

11.1 ПАРАМЕТРЫ ДВУХВАЛКОВОГО СТАНА

Основываясь на приведенных работах [5,10], в которых описаны параметры валков для прокатки свинцовой фольги, выбираем $D = 230$ мм. Ширина фольги $b = 300$ мм. Длина бочки валка $L = b + (50 \div 100) = 300 + 100 = 400$ мм. Диаметр шейки $d_{ш} = 0,55 \cdot D = 120$ мм. Длина шейки вала $l_{ш} = d_{ш} = 120$ мм [26]. Схема двухвалкового валка приведена на рисунке 18.

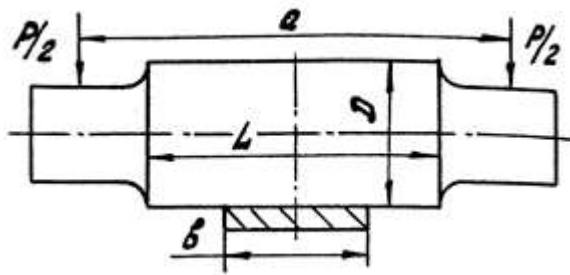


Рисунок 18 – схема валка двухвалкового стана

Выбранные параметры валкового узла должны обеспечивать требуемую прочность и надежность при длительной эксплуатации, которая обеспечивается из условия 5-кратного запаса статической прочности [24].

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 3\tau_{кр}^2} = 475 \text{ М·Па} \quad (8.1)$$

где $\sigma_{из}$, $\tau_{кр}$ – напряжения изгиба и кручения в теле валков.

Напряжение изгиба по середине бочки и в шейке валка равны [24]:

$$\sigma_{изб} = \frac{M_{изб}}{0,1D_b^3}; \sigma_{изш} = \frac{M_{изш}}{0,1d_{ш}^3}, \text{ М·Па} \quad (8.2)$$

Напряжение кручения по середине бочки $\tau_{крб}$ и в шейке вала $\tau_{крш}$ равны [24]:

$$\tau_{крб} = \frac{M_{крб}}{0,2D_b^3}; \tau_{крш} = \frac{M_{крш}}{0,2d_{ш}^3}, \text{ М·Па} \quad (8.3)$$

$$[\tau] = 0,55\sigma_{SB} = 0,55\sigma_B = 230 \text{ М·Па}$$

$$M_{из.ш} = 0,25L(a/L - 1)P = 45 \text{ М Н·мм} \quad (8.4)$$

$$M_{кр.ш} = 0,2d_{ш}^3[\tau] = 7948 \text{ к Н·мм} \quad (8.6)$$

$$\frac{\sigma_B}{5} = \sqrt{\left(\frac{M_{из.ш}}{0,1d_{ш}^3}\right)^2 + 3\left(\frac{M_{кр.ш}}{0,2d_{ш}^3}\right)^2} \quad (8.7)$$

Подставляем выше указанные формулы, выводим усилие и рассчитываем [24].

$$P = \sqrt{\frac{d_{ш}^6(\sigma_B^2 - 3[\tau^2])}{6,25(a-L)^2}} = 1500 \text{ к}\cdot\text{Н} \quad (8.8)$$

11.2 ПАРАМЕТРЫ ЧЕТЫРЕХ ВАЛКОВОГО СТАНА

Диаметр валков выбран, основываясь на работе [27]. Диаметр рабочего, приводного валка $D = 150$ мм, диаметр опорного валка $D_{оп} = 400$ мм. Ширина фольги $b = 300$ мм. Длина бочки валка $L = b + (50 \div 100) = 300 + 100 = 400$ мм. Диаметр шейки приводного валка $d_{ш} = 0,55 \cdot D = 80$ мм. Длина шейки вала $l_{ш} = d_{ш} = 80$ мм [26]. Диаметр шейки опорного валка $d_{ш} = 220$ мм. Длина шейки вала $l_{ш} = d_{ш} = 220$ мм [26]. Схема четырехвалкового валка приведена на рисунке 19.

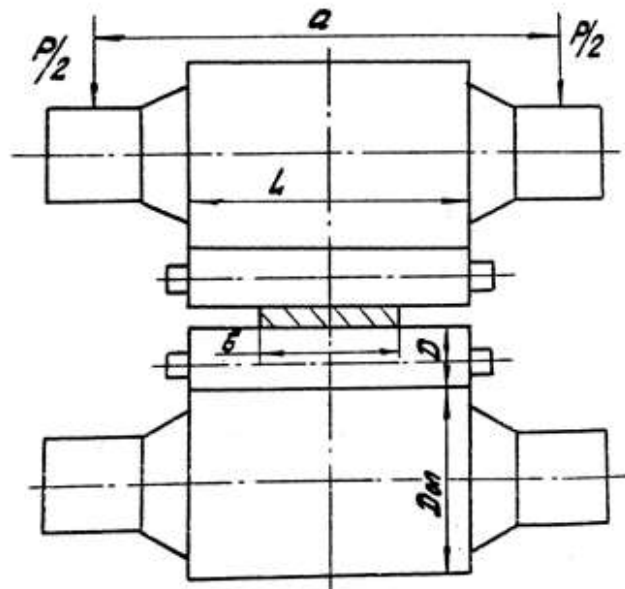


Рисунок 19 – схема валка четырехвалкового стана

Результирующее напряжение рассчитывается по формуле (8.1), (8.2) и (8.3).

$$\sigma_{рез} = 583 \text{ М}\cdot\text{Па}$$

Приводные рабочие валки рассчитывают на кручение в приводном конце и на изгиб от усилия натяжения в горизонтальной плоскости. Максимальный крутящий момент в приводном конце рабочего валка [24]:

$$M_{кр} = M_B + Pf_{оп} \frac{d_{опш}}{2} \left(\frac{D}{D_{оп}} \right) + PL \left(\frac{D}{D_{оп}} + 1 \right) = 96 \text{ М} \cdot \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (8.9)$$

где второй и третий многочлены учитывают трение в подшипниках опорных валков и трение качения между валками.

M_B рассчитывается по формуле (5.2).

Так как переднее и заднее натяжения принимаем равные по величине $T_1 = T_0$, то опорные валки рассчитываем только на изгиб по формуле (8.4).

$$P = 5000 \text{ кН}$$

Принятый режим обжатий заготовки, необходимое качество проката, стойкость валков в значительной мере зависят от материала, из которого изготовлены валки. Основанием для выбора материала является назначение стана и условия эксплуатации валков. Материал, из которого изготовлены валки, должен обеспечить их прочность и износостойкость. Износ валков зависит от их твердости. Твердость снижает вязкость, что отражается на снижении прочности валков. В каждом конкретном случае в зависимости от назначения стана и условий эксплуатации валки делают из материала, обладающего свойством, являющимся в данном случае основным.

Для данного стана выбираем материал валков - сталь марки 75ХМ. Конструкции рабочего и опорного валков приведены на рисунках 20,21.

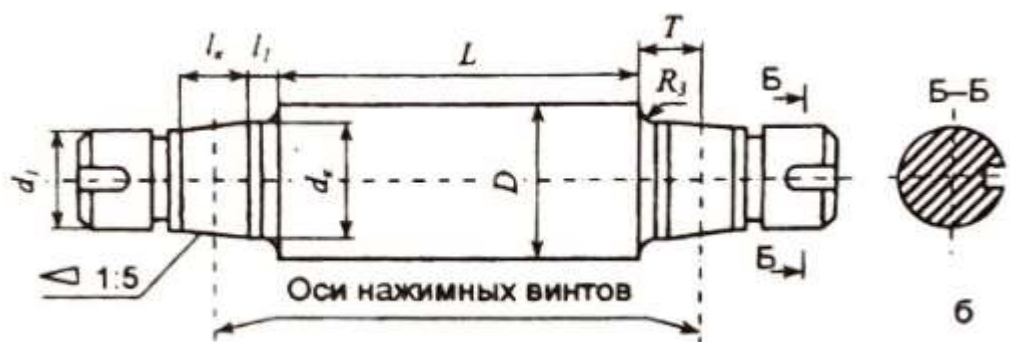


Рисунок 20 – Конструкция опорного валка

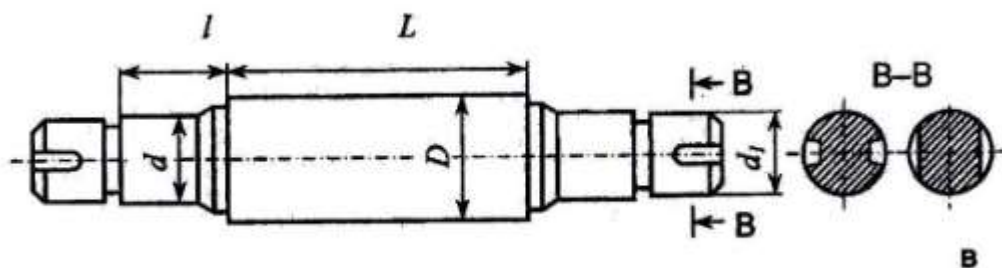


Рисунок 21 – Конструкция рабочего валка

11.3 СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСТВОРА ВАЛКОВ

Для регулирования раствора валков используются нажимные винты с механизмами уравнивания. Нижний валок неподвижный. Перемещение верхнего валка вверх осуществляется уравнивающим устройством, вниз - нажимными винтами, которые воспринимают силу уравнивания и усилие прокатки.

Винты установлены в бронзовые гайки. Сверху на винтах закреплены шестерни. Крутящий момент между винтом и шестернями передается при помощи шпонки (шлица). Далее шестерни приходят в зацепление с червяком, который в свою очередь соединен через муфту с электродвигателем.

Передаточное отношение между электродвигателем и нажимным винтом будет равно передаточному отношению червячного зацепления. Так, зная шаг резьбы нажимных винтов и передаточное отношение червяка, можно рассчитать, на сколько переместится винт за один свой оборот электродвигателя.

$$L = \frac{P}{n_{\text{ч}}}, \quad (9)$$

где P – шаг резьбы, $n_{\text{ч}}$ – передаточное отношение червячной передачи.

Для управления раствором на электродвигатель устанавливается энкодер. Энкодер подключается к пульту управления. Работа энкодера производится при помощи программы, которая по формуле пересчитывает

перемещение вала на нужное количество оборотов электродвигателя и посылает на него сигнал.

Недостаток такой системы – расстояние между валками и фактическая толщина прокатанной полосы различаются. Чтобы получать нужную толщину полосы, придётся учитывать коэффициент жесткости клетки, упругие деформации клетки, температуру при горячей прокатке, механические свойства прокатываемого материала и т.д.

Так как энкодер и вал электродвигателя жестко связаны, здесь не требуется дополнительная установка измерительного устройства, что повышает быстродействие системы.

11.4 СХЕМА СТАНА ДУО-КВАРТО 400

Предлагаемая схема стана Дуо 230х400 представлена на рисунке 22.

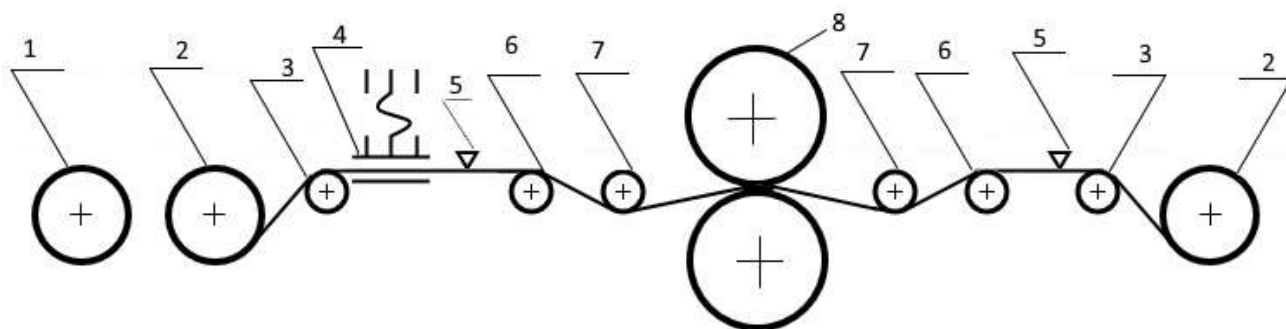


Рисунок 22 – схема стана Дуо 230х400

1 – разматыватель; 2 – моталка; 3 – измеритель натяжения; 4 – прижим;

5 – измеритель толщины; 6 – измеритель скорости; 7 – ободной ролик;

8 – валковый узел

Предлагаемая схема стана Дуо-Кварто 400 представлена на рисунке 23.

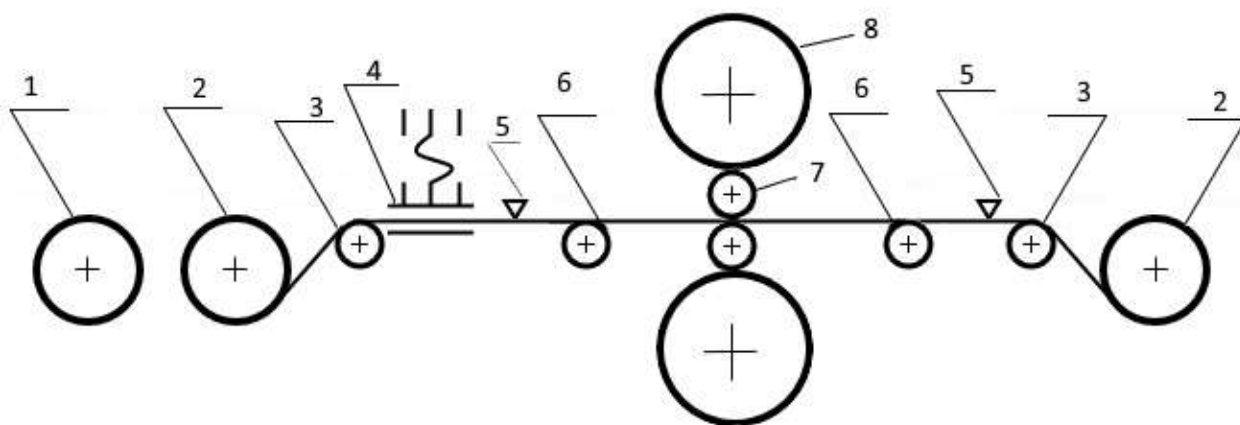


Рисунок 23 – схема стана Дуо-Кварто 400

- 1 – разматыватель; 2 – моталка; 3 – измеритель натяжения; 4 – прижим;
5 – измеритель толщины; 6 – измеритель скорости; 7 – рабочие валки;
8 – опорные валки

Основное оборудование прокатного стана Дуо-Кварто 400, включающее рабочую клетку с ее электроприводом, предназначено для выполнения главной операции — деформации металла прокатываемой заготовки между двумя вращающимися рабочими валками.

В состав рабочей клетки входят сменные кассеты рабочих валков дуо, сменные кассеты рабочих валков кварто; нажимные и уравнивающие устройства.

Электропривод рабочей клетки, представленный на рисунке 24, (главный электропривод) состоит из электродвигателя, моторной муфты, комбинированного 3-ступенчатого редуктора, включающего ступень шестеренной клетки с передаточным отношением, равным единице, верхнего и нижнего универсальных шпинделей.

Вспомогательное оборудование для реализации технологии прокатки фольги содержит рольганг, ножницы продольной и поперечной резки,

сварочный аппарат, правильную машину, правую и левую моталки консольного типа со своими электроприводами.

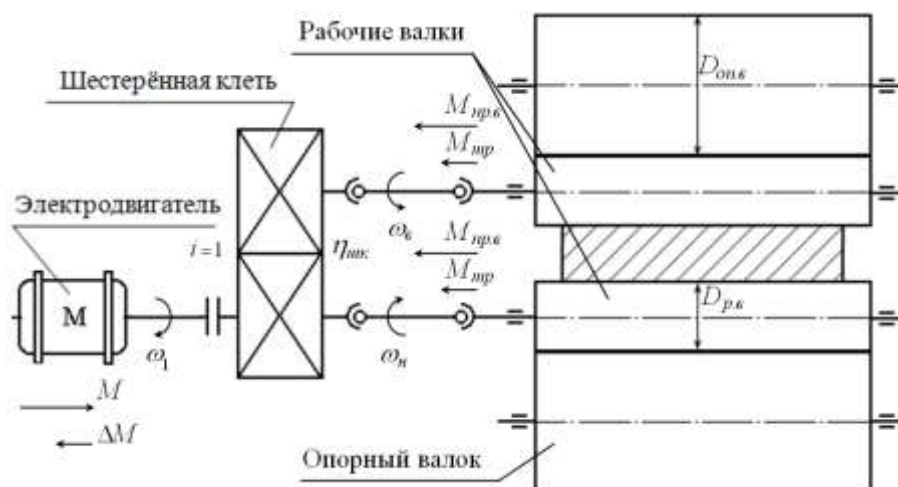


Рисунок 24 – Схема электропривода

11.5 МОТАЛКИ

Моталки применяют для сматывания в рулоны длинных полос и лент. Моталки не только наматывают (или сматывают) полосу, но одновременно сообщают ей натяжение, что необходимо для устойчивого процесса прокатки, получения плотного бунта и правильного направления полосы при входе ее в валки и при выходе из них. Создание переднего (на выходе металла из валков) и заднего (на входе металла в валки) натяжений полосы желательно также и потому, что благодаря натяжению снижается давление на валки при прокатке [30].

11.6 ПОДДЕРЖАНИЯ ПОСТОЯННОГО НАТЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

При работе прокатного стана, в котором используется разматывающее и намоточное устройства, существует необходимость поддержания натяжения полосы на одном уровне.

$$T = const, \tag{10}$$

где T – натяжение полосы.

Но при размотке или намотке полосы радиус бунта изменяется, как показано на рисунке 25.

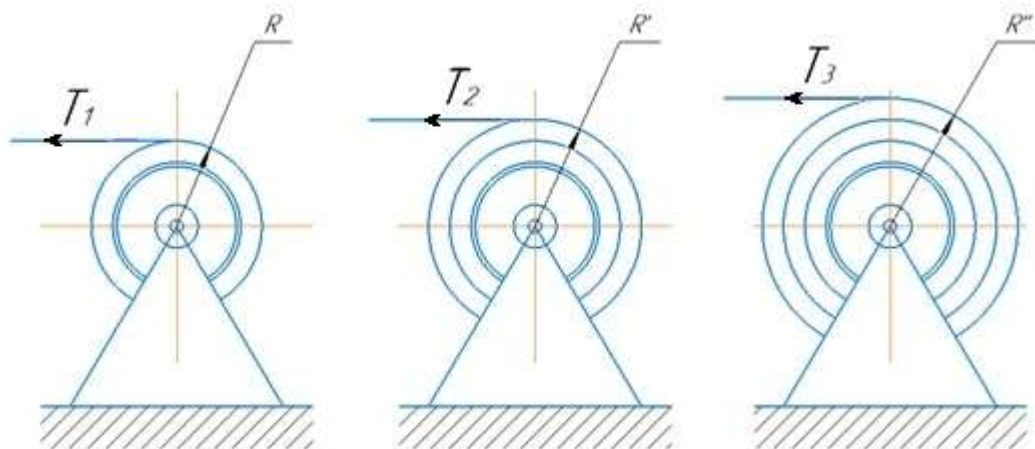


Рисунок 25 – Изменение радиуса бунта при намотке полосы

Для поддержания натяжения полосы на одном уровне должно обеспечиваться равенство:

$$T_1 = T_2 = T_3. \quad (10.1)$$

Натяжение полосы зависит от момента, создаваемого электродвигателем моталки и радиуса бунта:

$$M_{кр} = T \cdot R. \quad (10.2)$$

$$T = \frac{M_{кр}}{R}. \quad (10.3)$$

Так как при прокатке радиус бунта постоянно изменяется: растет при намотке, убывает при размотке, то для поддержания натяжения $T = \text{const}$ нужно пропорционально изменять крутящий момент.

Изменяя электрическую мощность на обмотке ротора можно регулировать силу крутящего момента на электродвигателе.

Изменение радиуса бунта ΔR при прокатке можно определить, проводя, непосредственное, измерения радиуса бунта при помощи дальномера

После того, как будет произведена загрузка прокатного стана путем прокатки и закреплении полосы на сматывателе, создаётся необходимое натяжение. Включается дальномер и измеряет начальный радиус бунта R_n , от которого и будет вестись его пересчет. С увеличением или уменьшением намотанной полосы на бунтах, расстояние, которое измеряет дальномер, будет изменяться. Таким образом, измерение радиуса бунта производится в реальном времени, при этом погрешность в толщине полосы не будет влиять на расчёты:

$$\Delta R = R_n \pm R_f, \quad (10.4)$$

где R_n – изначальный радиус бунта R_f – фактический радиус бунта в данный момент времени.

11.7 ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ

Толщина прокатываемого металла может быть измерена бесконтактным способом. Наибольшее применение получили лазерные толщинометры.

Прибор, изготавливаемый в ФРГ для бесконтактного измерения толщины прокатываемого металла, имеет лазерный измерительный зонд с фотодиодом, а также цифровое аналоговое устройство [32]. В приборе используется гелий-неоновый лазер выходной мощностью 1 мВт и рабочим напряжением 1,6 кВ. Мощность управляющего устройства составляет 100 ВА при напряжении 110/220 В и частоте 48—60 Гц. Электронные системы для обработки измерений расположены на сменных и легко доступных втычных картах, результаты измерения показывает магнитно-электрический прибор или цифровой вольтметр, расположенный на лицевой панели управляющего

устройства. Полученные результаты замеров могут фиксироваться с помощью двухкоординатного самописца.

11.8 ИЗМЕРИТЕЛЬ НАТЯЖЕНИЯ

Для измерения натяжения полосы широкое применение получили прямые методы измерения. На рисунке 26 показана схема однороликового измерителя натяжения. Принцип измерителя натяжения, предложенного фирмой ASEA, заключается в определении натяжения как функции горизонтальной (F_r) и вертикальной (F_D) составляющих усилия ленты на измерительный ролик.

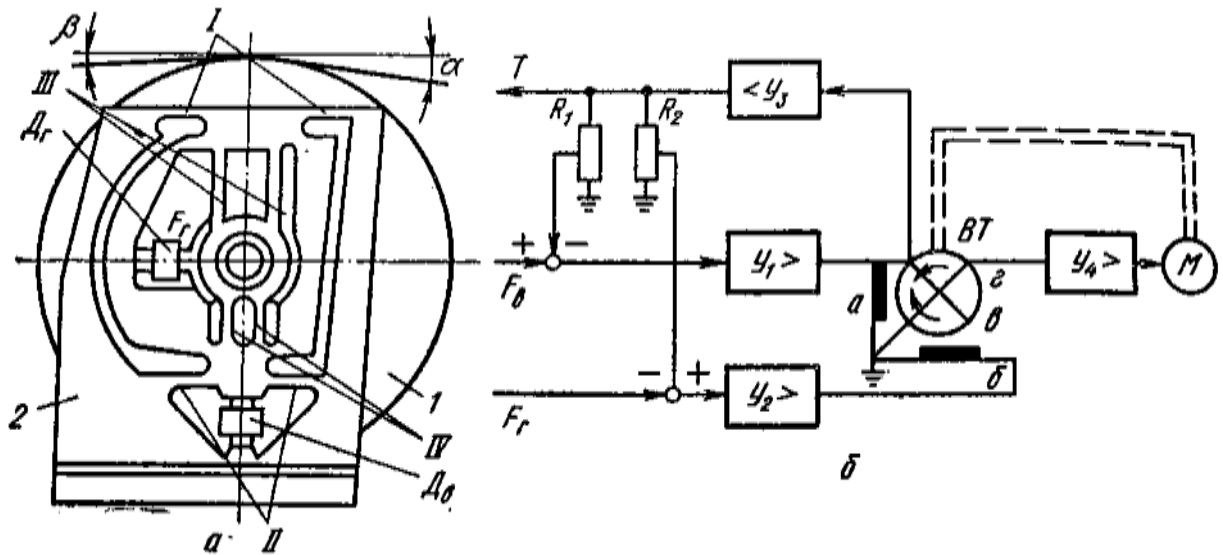


Рисунок 26 – Измеритель натяжения фирмы ASEA (Швеция):

а — принципиальная схема; б — схема вычислительного устройства

Ось ролика 1 опирается на специальные опоры 2. Упругие элементы опор I и II деформируются только в направлении действия вертикальной составляющей силы F_D , а упругие элементы III и IV — горизонтальной составляющей силы F_r [34].

Из условия равновесия ролика под действием приложенных к нему сил следует, что

$$T \sin \alpha = F_D - T \sin \beta \quad (11)$$

$$T \cos \alpha = T \cos \beta - F_r \quad (11.1)$$

Силы F_B и F_r воспринимаются соответственно датчиками Дв и Дг, а сигналы датчиков выдаются в счетно-решающее устройство, с помощью которого определяют величину натяжения.

Натяжение ленты T может быть приближенно определено с помощью простейшей электрической схемы, осуществляющей умножение величин F_B и F_r на постоянные коэффициенты и сложение полученных произведений [35]:

$$T = k'_1 F_B + k'_2 F_r \quad (11.2)$$

Можно показать, что поверхность измерения будет наименьшей, если

$$k'_1 = \frac{\sin \alpha_{cp}}{1 - \cos(\alpha_{cp} + \beta)} \quad (11.3)$$

$$k'_2 = \frac{\cos \alpha_{cp}}{1 - \cos(\alpha_{cp} + \beta)} \quad (11.4)$$

Принцип работы вычислительного устройства показан на рисунке 28б. На вход усилителя U_1 подается сигнал, пропорциональный величине $T \sin \alpha$, а на вход усилителя U_2 — сигнал, пропорциональный $T \cos \alpha$. Коэффициенты $k'_1 = \sin \beta$ и $k'_2 = \cos \beta$ задаются в цепях обратной связи потенциометрами R_1 и R_2 вручную. После усиления напряжения сигналы, пропорциональные $T \sin \alpha$ и $T \cos \alpha$, подаются на обмотки a и b статора вращающегося трансформатора BT , имеющего по две взаимно перпендикулярные обмотки статора и ротора (соответственно $a, b, в, г$).

Выходные напряжения на обмотках ротора, поступающие на усилители U_3 и U_4 , являются функциями синуса и косинуса угла его поворота y' . Вал вращающегося трансформатора механически связан с валом серводвигателя M , который поворачивает ротор BT на угол $y' = \alpha$. Тогда напряжение в одной из обмоток ротора

$$U_r = T \sin \alpha \sin(90 - \alpha) + T \cos \alpha \cos(90 - \alpha)$$

или

$$U_r = T \sin\alpha \cos\alpha - T \cos\alpha \sin\alpha = 0$$

Напряжение на второй его обмотке

$$U_r = T \sin\alpha \sin\alpha + T \cos\alpha \cos\alpha = T$$

Для измерения усилия натяжения ленты фирма ASEA применяет магнестрикционные датчики, описание которых приведено выше. Эти датчики нечувствительны к изменениям температуры и влиянию внешних магнитных полей [34].

11.9 ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ

В процессе прокатки необходимо все время поддерживать заданную скорость прокатки.

У электродвигателей постоянного тока с независимым возбуждением, а также у асинхронных электродвигателей есть естественная характеристика электродвигателя – это характеристика, как показано на рисунке 27, при которой частота вращения хоть и уменьшается с увеличением момента, но незначительно.

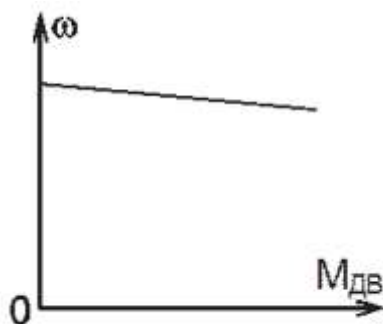


Рисунок 27 – Естественная характеристика электродвигателя

Из-за изменения приложенной нагрузки, частота вращения электродвигателя будет изменяться. Поэтому на электродвигатель устанавливается энкодер и реализуется функциональная схема регулирования по ошибке.

Так как энкодер и вал электродвигателя жестко связаны, здесь не требуется дополнительная установка измерительного устройства, что повышает быстродействие системы.

12. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ НА СТАНЕ ДУО-КВАРТО

Получение фольги начинается с получения подката на стане Дуо – 710x1400 описанного в главе 3. Полученные ленты сматывают на моталку, свинцовые на шпулю, так как жесткость рулона мала. Полосы получаются шириной 640 мм, их разрезают на две полосы по 320 мм. Затем полученные рулоны укрупняют. Способы сварки описаны в главе 8. Вес рулона не должен быть не меньше 300кг. Для этого понадобится 3 полосы свинца, 5 цинковых полос и 4 медноникелевых. После укрупнения нужно провести термообработку, отжиг, для цинковых и медно-никелевых рулонов. Готовые рулоны отправляются на разматыватель стана дуо-кварто 400.

Рулон, предназначенный для прокатки на реверсивном стане, устанавливается в разматыватель. Передний конец полосы пропускается на низкой (заправочной) скорости через прижим. Передний конец заправляется в переднюю моталку при отключённом стане. После создания переднего натяжения осуществляется дальнейшая прокатка полосы. Задний конец доводится до прокатной клетки. Верхний валок устанавливается в положение, соответствующее следующему обжатию. В конце такой перемотки стан останавливается, и задний конец полосы надежно закрепляется на входной моталке. Стан разгоняется в обратном направлении. Прокатка идет на левую моталку. Процесс повторяется в соответствии с программой прокатки (количеством пропусков). По окончании прокатки верхний валок поднимается, чтобы пропустить через валки непрокатанный конец полосы. После этого задний конец полосы освобождается, и полоса проходит через валки без обжатий. В дальнейшем непрокатанные концы полосы обрезаются.

Свинцовую фольгу планируется прокатывать, по разработанным режимам деформации в 9 главе, на стане в варианте дуо в семь проходов: 4 → 2 → 1 → 0,5 → 0,25 → 0,12 → 0,05 → 0,025 мм.

Для смазки валков рекомендуется использовать индустриальное масло И-20 и керосин (50% – масло, 50% – керосин). Причем в последнем проходе смазку подавать на валки со стороны входа полосы в валки. Такая особенность охлаждения валков и их смазки во время прокатки объясняется тем, чтобы смазки не было на полосе после ее выхода из валков. Если смазка остается на полосе при смотке ее на концевую моталку, то она, как правило, высыхает и образовавшийся налет остается на полосе, что снижает качество поверхности.

Цинковую фольгу планируется прокатывать, по разработанным режимам деформации в 9 главе, на стане с вариантом кварто в 8 проходов: 3 → 2,3 → 1,8 → 1,2 → 0,7 → 0,35 → 0,18 → 0,1 → 0,05 мм.

В качестве смазки, как и при прокатке свинцовой фольги, рекомендуется использовать индустриальное масло И-20 и керосин (50% – масло, 50% – керосин).

После четвертого прохода рекомендуется провести отжиг рулона в колпаковой печи при температуре 120°C, так как показатели пластичности (относительное удлинение и сужение) с повышением температуры, особенно выше 150°C, резко снижаются.

Медно-никелевую фольгу планируется прокатывать, по разработанным режимам деформации в 9 главе, на стане с вариантом кварто в 10 проходов: 3 → 2,5 → 1,8 → 1,47 → 1,13 → 0,85 → 0,62 → 0,43 → 0,30 → 0,12 → 0,06 мм.

В качестве смазки рекомендуется использовать эмульсию (эмульсол + вода).

После пятого и девятого прохода рекомендуется провести отжиг в колпаковой печи при температуре 650°C.

13. ПРЕДЛАГАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ООО НПП «РОСАНТИКОР» ДЛЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ

Для прокатки фольги в условиях ООО НПП "РосАнтикор" потребуется прокатный стан, укупнитель рулонов, концевая моталка для стана ДУО – 710x1400, дисковые ножницы и колпаковая печь.

13.1 ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СТАН ДЛЯ ПРОКАТКИ ФОЛЬГИ

Технологические параметры стана дуо-кварто 400 представлены в таблице 21, а схемы стана представлены на рисунках 22, 23.

Таблица 21 – Параметры стана дуо-кварто 400

Исходная толщина	4 мм
Минимальная толщина для варианта дуо	0,025 мм
Минимальная толщина для варианта кварто	0,05 мм
Ширина	До 320 мм
Параметры валковых узлов:	
Вариант дуо:	
Диаметр валков	230 мм
Усилие прокатки	макс. 1500 кН
Крутящий момент	7948 к·Н·мм
Вариант кварто:	
Диаметр рабочих валков	150 мм
Диаметр приводных валков	400 мм
Усилие прокатки	макс. 4000 кН
Крутящий момент	96 М·Н·мм
Подшипники	Четырехрядные роликовые конические [28]
Нажимное устройство	Электромеханическое
Скорость прокатки	До 3 м/с
Вес рулона	До 500 кг
Диапазон натяжений	6-2500 кг

Стан так же оснащен датчиками: измерения натяжения полосы, измерения толщины полосы и измерения скорости.

13.2 ПРЕДЛАГАЕМАЯ СХЕМА МОТАЛКИ НА СТАН ДУО – 710x1400

Предлагается на стан ДУО – 710x1400 за гильотинными ножницами установить наматывающее устройство. Предлагаемая схема стана с моталкой представлена на рисунке 28.

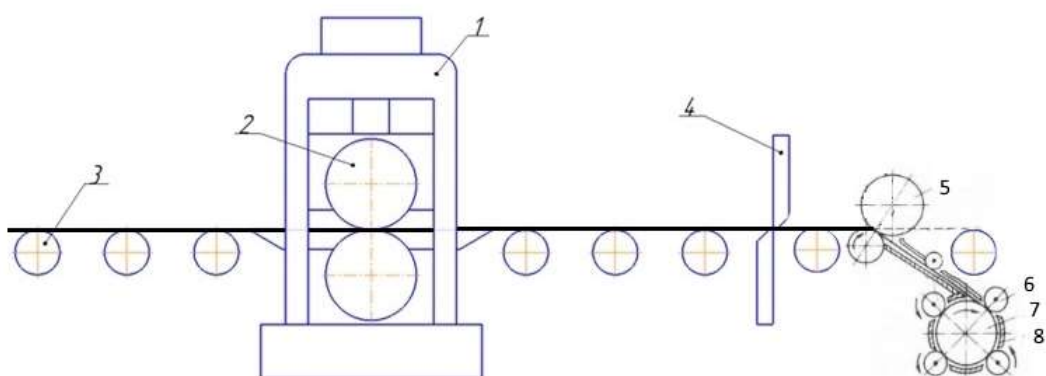


Рисунок 28 – Схема стана Дуо – 710x1400:

- 1 – станина; 2 – рабочие валки; 3 – транспортные рольганги;
- 4 – ножницы гильотинные поперечной резки; 5 – подающие ролики;
- 6 – формирующие рамки; 7 – барабан; 8 – проводки

Сматывание полосы на барабан моталки в плотные рулоны осуществляется барабаном моталки, создающим натяжение (без прижима к полосе формирующих роликов).

Первые витки сматываются при помощи формирующих роликов, далее они отводятся от рулона и дальнейшее сматывание осуществляется с натяжением полосы барабаном моталки, верхние тянущие ролики при этом работают в генераторном режиме (тормозном) режиме. Достаточно двух-трех формирующих роликов с концентрирующими проводками между ними.

При направлении полосы для сматывания на следующую моталку верхний ролик предыдущей моталки поднят, а проводники опущены. Особенностью

такой моталки можно считать трехпозиционный барабан. После наматывания нескольких витков на барабан осуществляется его разжатие, причем сегменты барабана плотно прилегают к полосе, исключая ее проскальзывание [30].

13.3 ПРЕДЛАГАЕМАЯ СХЕМА ДИСКОВЫХ НОЖНИЦ

Резку фольги, предлагается, проводилась на дисковых ножницах с диаметром ножей 120 мм, схема которых приведена на рисунке 29.

Процесс резки осуществляется следующим образом. Рулон с фольгой устанавливается на фрикционный разматыватель. Фрикцион разматывателя настраивается таким образом, чтобы фольга самопроизвольно не разматывалась. Далее передний конец фольги заправляется во вращающиеся ножи. Порезав фольгу, передний конец при выключенных ножницах закрепляется на моталке. Создается требуемое натяжение фольги прижимом и производится резка фольги. Образовавшаяся при резке обрезь сматывается на фрикционную моталку для обреза.

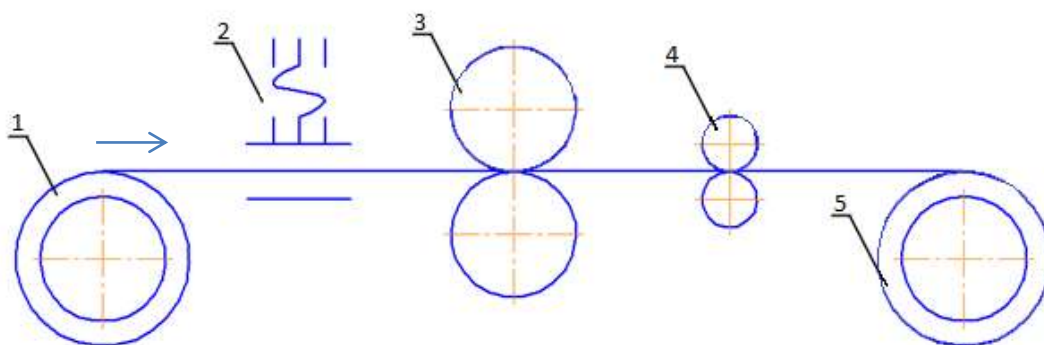


Рисунок 29 – Схема дисковых ножниц

1 – разматыватель; 2 – прижим;

3 – ножи диаметром 120 мм;

4 – ролики для устранения заусенцев; 5 – фрикционная моталка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проанализированы технологии получения фольги из свинцовых, цинковых и медно-никелевых сплавов.

Разработаны режимы деформации и рассчитаны энергосиловые параметры фольги из свинцовых, цинковых и медно-никелевых сплавов.

Разработаны технические и технологические параметры стана для прокатки фольги из свинцовых, цинковых и медно-никелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнитикор».

Разработана технология получения фольги на стане дуо-кварто 400 из свинцовых, цинковых и медно-никелевых сплавов в условиях ООО НПП «РосАнитикор».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шейхи, Ш. Развитие производства плоского стального проката / Ш. Шейхи, А. Ангербауэр, К.-Д. Вупперман // Черные металлы. 2010. № 1. – с. 30-37 .
2. Риттербах, Б. Основные тенденции развития исследований в черной металлургии / Б. Риттербах // Черные металлы. 2014. № 9. – с. 75-78 .
3. Берман, С.И. Прокатка листов и лент из тяжелых цветных металлов / С.И. Берман. – М.: Металлургия, 1977. – 264 с.
4. Третьяков, А. В. Резервы станов холодной прокатки / А. В. Третьяков // – М. : Металлургиздат, 1962 . – 198 с.
5. Черняк, С.Н. Производство фольги / С.Н. Черняк, В.И. Карасевич // Москва, Типография Металлургиздата, 1957г. – 280 с.
6. Выдрин, В.Н. Принципиальные и теоретические основы нового процесса «прокатка-волочение» / В.Н. Выдрин, Л.М. Агеев // Теория и технология прокатки. Челябинск: ЧПИ, 1971. С 3-21.
7. Тихонов, Б.С. Прокатка цинка / Б.С. Тихонов // Москва: Металлургиздат, 1963. — 200 с.
8. Судаков, Н.В. Резервы холодной листовой прокатки / Н.В. Судаков, А.П. Пелленен // Журнал «Металлург» №11, 2018г.
9. Нарышкин, В.Н. / Подшипники качения. Справочник-каталог. В.Н. Нарышкин, Р.В. Коросташевский // Москва, Изд. Машиностроение, 1984г, 280 с.
10. Шумейко, В.П. Разработка технологии получения кашированной фольги на основе свинца / В.П. Шумейко // Дипломная работа – Челябинск: ЮУрГУ, 2017г, 56 с.
11. Орловцев, Ю.В. Влияние технологии получения и очистки цинка на содержание в нем газовых примесей / Ю.В. Орловцев, В.В. Крапухин, А.Н. Крестовников // Бюллетень ЦИИН ЦМ, 1961
12. Rolling of Zinc. The Metal Industry, 1941, 54

13. A. Burchardt. Zink und seine Legierungen, 1937
14. A. Burchardt. Matallkunde, 1940, 32.
15. Вол, А.Е. Цинк и его сплавы / А. Е. Вол // Москва: Стандартизация и рационализация, 1933 – Обл., 260, 104 с.
16. Ульянов, А. Я. Исследование особенностей рекристаллизации электролитического цинка / А. Я. Ульянов // Московский институт цветных металлов и золота – М.: Metallurgizdat, 1945.
17. Целиков, А. И. Прокатные станы: Учебник для вузов / А. И. Целиков, В. В. Смирнов. – М. : Metallurgizdat, 1958 . – 432 с.
18. The journal of the Institute of Metals, Inwarv, 1950, 557-580
19. G. Ullman. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Zinkblechen und Bandern, Magdeburg, 1945
20. Сварка. Резка. Металлообработка – <https://www.autowelding.ru/>
21. Смирягин, А.П. Промышленные цветные металлы и сплавы / А.П. Смирягин, Н.А. Смирягина, А.В. Белова // Москва, Типография Metallurgiya, 1974г. – 488 с.
22. Ульянов, А. Я. Исследование особенностей рекристаллизации электролитического цинка / А. Я. Ульянов // – М.; Л. : Metallurgizdat, 1945. - 5/35 : Сборник научных трудов кафедры металловедения / МИЦМиЗ, А. А. Бочвар . – М.; Л. : ОНТИ, 1938 .
23. Фетисова, Г.П. Материаловедение и технология материалов / Г.П. Фетисова // М. :Издательство Юрайт, 2015. — 767 с.
24. Агеев, Л.М. Проектирование с использованием ЭВМ параметров валковых узлов станов холодной прокатки / Л. М. Агеев, А. П. Пелленен, Е. А. Остсемин // Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1990г. – 81 с.
25. Ануфриев, И. Е. MATLAB 7 / И. Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова // – СПб.: БХВ-Петербург, 2005г., 1104 с.
26. Целиков, А.И. / Теория прокатки. Справочник. А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин // Москва, Типография Metallurgiya, 1982г, 335 с.

27. Неминуций, В. В. Станы для прокатки цветных металлов и сплавов / В. В. Неминуций // М. : Metallurgiya, 1968 . – 208 с.
28. Справочник подшипников – www.podshypnik.info
29. Филатов, А. С. Электропривод и автоматизация реверсивных станов холодной прокатки / А. С. Филатов // М. : Metallurgiya, 1973 . – 376 с.
30. Гулидов, И.Н. / Оборудование прокатных цехов. И.Н. Гулидов // М.: Интернет Инжиниринг, 2004. – 320с.
31. Выдрин, В.Н. К вопросу оптимизации режимов деформации при прокатке / В.Н. Выдрин, Н.В. Судаков, Л.М. Агеев и др. // Steel in the USSR. British Library, London. 1984. vol.14. №2. pp.73.
32. Черные металлы : Перевод на русский язык журнала 'Stahl und Eisen'. Ежемесячный журнал по актуальным проблемам металлургии, машиностроения и приборостроения зарубежных стран. – Журнал издается с 1961 г . – М. : Руда и металлы . - ISSN 0132-0890№8 .
33. Stahl und Eisen, 1970, Hf. 16, S. 878 – 879.
34. Филатов, А. С. Электропривод и автоматизация реверсивных станов холодной прокатки / А. С. Филатов // – М. : Metallurgiya, 1973 . – 376 с.
35. Целиков, А. И. Основные направления повышения качества листового проката за рубежом / А. И. Целиков, М. В. Барбарич, А. С. Филатов // – Москва : НИИинформтяжмаш, 1973. - 74 с.