

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

Д.Р. Ганин

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

«Машины и агрегаты металлургического производства»

для студентов направления подготовки

15.03.02 Технологические машины и оборудование,
всех форм обучения

Новотроицк, 2024

УДК 621.771

ББК 34.62

Г 19

Рецензенты:

Механик листопрокатного цеха (ЛПЦ-1) АО «Уральская Сталь»

Е.А. Калинин

*Доцент кафедры металлургических технологий и оборудования
Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСИС»», к.т.н.*

М.В. Харченко

Ганин Д.Р. Вспомогательное оборудование для обработки металлов давлением: учебное пособие по дисциплине «Машины и агрегаты металлургического производства» для студентов направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование всех форм обучения. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСИС», 2024. – 112 с.

Рассмотрены конструкции и приведены расчеты вспомогательного оборудования широко распространенных на производстве типов прокатных станов.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование и может быть использовано при самостоятельной работе, курсовом и дипломном проектировании. Пособие может быть полезно для студентов направления подготовки 22.03.02 Металлургия.

Учебное пособие составлено в соответствии с требованиями ОС НИТУ «МИСИС» подготовки бакалавров направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСИС»

ISBN 978-5-903472-36-9

© ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСИС»,
Новотроицкий филиал, 2024.

Содержание

| | |
|---|-----|
| Введение | 4 |
| 1 Машины перемещения и кантовки проката | 6 |
| 2 Машины для резки проката | 25 |
| 3 Правильные машины..... | 46 |
| 4 Оборудование для клеймения и маркировки проката | 70 |
| 5 Машины для разматывания-наматывания рулонов и бунтов..... | 74 |
| 6 Агрегаты зачистки и травления проката..... | 88 |
| 7 Агрегаты покрытия и термообработки проката..... | 98 |
| Вопросы для самоконтроля | 109 |
| Список использованных источников | 110 |

Введение

Вспомогательные технологические операции обработки металлов давлением (ОМД) включают подготовку полупродукта к ОМД и отделочные операции.

Подготовка полупродукта к ОМД заключается, главным образом, в удалении различных поверхностных дефектов: плен, раковин, трещин, неметаллических включений и др. Удаление дефектов осуществляют разными способами: вырубкой пневматическими зубилами, огневой и абразивной зачистками и др. В случаях, когда к поверхности проката предъявляются особо высокие требования, производится сплошное удаление поверхностного слоя металла путем строгания, фрезерования, обработки на специальных токарных станках.

Удаление слоя окислов (окалины) с поверхности заготовок чаще всего осуществляют посредством травления металла в водных растворах серной, соляной или других кислот. Иногда перед травлением металл подвергают смягчающей термической обработке.

В некоторых случаях, когда на поверхности горячекатаных заготовок имеется незначительное количество дефектов, производят сплошную зачистку поверхности механическими методами (фрезерованием, шабровкой и т.п.). Такая операция часто применяется, например, при прокатке цветных металлов.

Отделочные операции в цехах ОМД можно подразделить на простые (правка, резка, зачистка дефектов, маркировка, упаковка и т.д.) и сложные, специфические [1, 2]. Например, при производстве конструкционных стальных листов и жести после отжига проводят особую операцию – отделочную холодную прокатку с небольшим обжатием (0,5...3,0%), так называемую дрессировку. К числу сложных отделочных операций также относят процессы нанесения на поверхность металла защитных покрытий – лужение, оцинкование, лакировка и др.

К вспомогательным технологическим операциям ОМД можно также отнести: нагрев металла перед обработкой; перемещение и кантовку, правку, клеймение и маркировку проката, разматывание и наматывание рулонов и бунтов [3, 4].

Оборудование, используемое на вспомогательных технологических операциях ОМД, является *вспомогательным оборудованием ОМД*.

Рассмотрению конструкций и принципов действия вспомогательного оборудования ОМД посвящено данное учебное пособие.

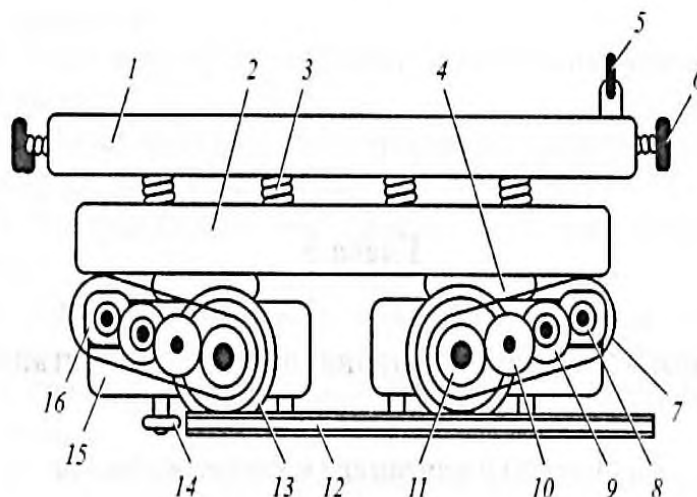
При написании учебного пособия были использованы труды А.И. Акатова, П.В. Аладына, Д.Ф. Альтшулера, Н.М. Баранова, Л.М. Боброва, Н.Г. Бойденко, А.С. Бурова, М.Н. Васьковцева, В.А. Вердеревского, Ф.Ф. Вольфа, В.С. Глазкова, Н.И. Голубенко, В.М. Гребеника, В.И. Дунаевского, И.М. Елин-

сона, А.А. Земскова, В.И. Зюзина, Ф.К. Иванченко, В.Н. Игнатова, А.Н. Ирош-
никова, А.А. Ищенко, В.П. Капоты, Г.М. Карпухина, А.А. Ковтушенко,
А.Г. Колесникова, Ю.С. Комиссарчука, А.А. Королева, Л.С. Кохана, Н.И. Кры-
лова, Т.Л. Крылова, В.В. Лебедева, Д.С. Левитского, А.К. Лекая, И.С. Леонова,
Н.Д. Лукашкина, Д.В. Лямина, А.А. Мальцева, А.М. Маскилейсона, Г.А. Ми-
шина, Е.Н. Мошнина, Ю.Н. Набатова, В.С. Некипелова, Н.Н. Огаркова,
А.С. Остринского, В.А. Павленко, В.А. Палеева, В.Я. Панюхно, В.Г. Песоцкого,
Е.В. Подольской, Ю.В. Поликарпова, В.П. Полухина, П.И. Полухина, Б.В. По-
пова, И.С. Ротова, О.А. Русанова, А.П. Самарина, Ю.Л. Семененко, П.И. Сидо-
рова, А.З. Слонима, В.В. Смирнова, А.Л. Сони́на, Д.А. Сторожика, И.В. Стри-
жевского, С.Н. Сумского, Б.М. Тарасова, В.В. Татарникова, М.А. Тылкина,
А.С. Тыртова, Г.П. Фуги, Г.Л. Химича, В.Б. Хорычева, Ю.Л. Хотимского,
А.А. Целикова, А.И. Целикова, В.Д. Шейнкмана, Б.А. Этингофа, Р.А. Яковлева,
А.М. Якушева и других исследователей.

1 Машины перемещения и кантовки проката

В таких технологиях ОМД как прессование, волочение, ковка и штамповка осуществляют различные операции по перемещению и кантовке (повороту) заготовок и изделий. Обработка и отделка проката также связана с многочисленными технологическими операциями, выполняемыми на разнообразных агрегатах, объединенных транспортными устройствами, осуществляющими продольное, поперечное, комбинированное перемещение проката (иногда совмещенное с его охлаждением) и его кантовку. К ним относятся слитковозы; подъемные, поворотные, подъемно-поворотные столы; манипуляторы; кантователи; рольганги; транспортеры; опрокидыватели и др. [3-11].

Слитковоз (рисунок 1) – самоходная тележка для перевозки стальных слитков (массой до 43 т), нагретых до температуры прокатки от нагревательных колодцев до приемного рольганга слябинга или блюминга.



- 1 - платформа; 2 - плита; 3 - пружинный амортизатор; 4 - подшипник;
5 - подвод электроэнергии; 6 - буфер; 7 - редуктор; 8, 9, 10, 11 -зубчатые колеса;
12 - рельс; 13 - колесо; 14 - направляющий ролик; 15 - ходовая тележка;
16 - электродвигатель

Рисунок 1 – Слитковоз [3]

Слитковоз внутри прокатного цеха может двигаться по кольцевому рельсовому пути. Он состоит из сварной платформы, имеющей пружинные амортизаторы и установленной на плиту, опирающуюся на роликовые подшипники, которые сами опираются на две ходовые тележки. Четыре колеса диаметром 950 мм соприкасаются с рельсами специального профиля. Ходовые тележки приводятся в движение от расположенных под платформой электродвигателей постоянного тока мощностью 46 кВт с частотой вращения 625 об/мин через двухступенчатый цилиндрический редуктор. Питание электродвигателей производится с помощью шарнирно-телескопического соединения с токосъемни-

ком от троллейных проводов, которые идут сбоку вдоль рельсового пути. Слитковоз на прямых участках пути может двигаться со скоростью до 5,4 м/с. Подъехав сбоку к приемному рольгангу блюминга слитковоз останавливается, толкатель с его платформы сдвигает слиток на бочки роликов, затем порожний слитковоз возвращается по закругленному и обратному прямому рельсовому пути к нагревательным колодцам для приема следующего слитка.

Классификация других основных видов машин для транспортирования проката приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация машин для транспортирования проката [4]

| Направление транспортирования | Применяемые машины и устройства | Транспортирующие устройства | Привод |
|-------------------------------|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Продольное | Рольганги: стационарные, опускающиеся, качающиеся, поворотные, сдвижные (рольганг-тележки) и магнитные | Ролики цилиндрические, конические, ребристые, ступенчатые и биконические | Электрический групповой или индивидуальный |
| | Тянущие и задающие ролики | Цилиндрические и профильные ролики | Электрический |
| | Вталкиватели | Подвижная штанга с речным или рычажным механизмом перемещения | Электрический, гидравлический и пневматический |
| Поперечное | Транспортирующие конвейеры: цепные | Несущие, со встроенными захватами цепи | Электрический |
| | Канатные (шлепперные) | Тележки с линейками или захватами | |
| | шагающие речные (перекладчики) | Гладкие и зубчатые рейки | Электрический и гидравлический |
| | шнековые | Ролики с винтовыми ребрами | Электрический |
| | Клинкен-шлепперы | Подвижные штанги с утапливающимися захватами | Электрический и гидравлический |
| | Манипуляторы | Подвижные штанги с линейками | Электрический |
| | Центрирующие устройства | Подвижные линейки | Электрический и гидравлический |
| | Наклонные стеллажи | - | Силы гравитации |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|---|---|
| Комбинированное: продольное с поперечным | Рольганги: с косорасположенными роликами (пакетирую- щие) с конусными роликами с наклонными роликами | Ролики: цилиндрические конические цилиндрические | Электрический групповой индивидуальный « |
| поступательное с вращением | Глобоидные ролики с пе- рекращивающимися ося- ми | глобоидные | « |
| вокруг продольной оси | Приводные ролики во вращающейся обойме | профильные | « |

Из отделения нагревательных колодцев слитки подаются слитковозом на приемный рольганг блюминга (обычно узким концом вперед). Но в некоторых случаях (при подаче слитков спокойной стали) подачу осуществляют широким концом вперед. Для уменьшения отходов дефектного металла на ножницах за блюмингом эти слитки прокатывают узким концом вперед, чтобы их прибыльная часть, расположенная на широком конце, была позади прокатанного сляба и блюма.

Рольганги являются основным транспортным средством прокатных цехов и используются для продольного и некоторого поперечного перемещения металла [3-7].

Основными параметрами рольгангов являются: диаметр бочки роликов и ее длина, шаг между роликами и частота их вращения.

Рольганги бывают приводные с индивидуальным или групповым приводом, неприводные с холостыми роликами, располагаемые с небольшим уклоном (так называемые гравитационные), на которых транспортирование осуществляется под уклон силой веса проката.

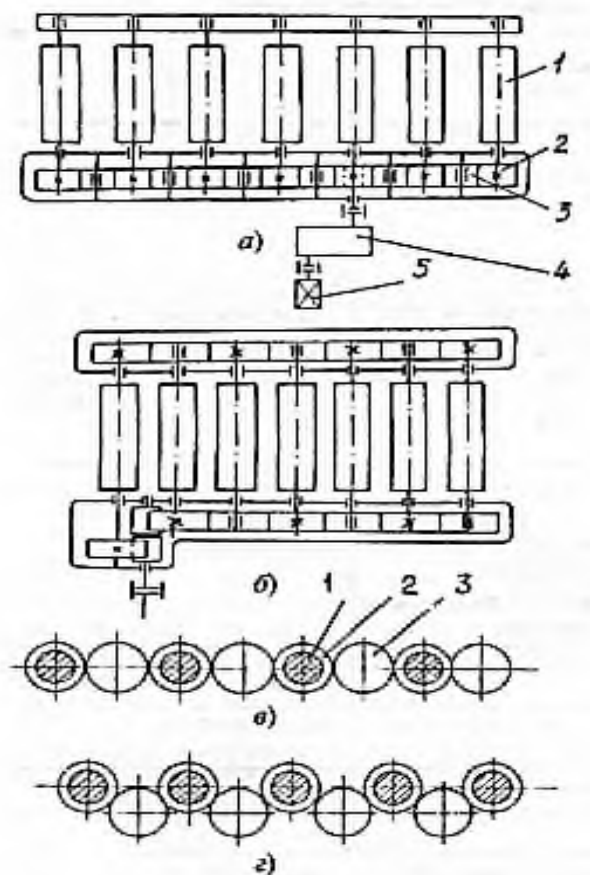
Общая длина рольгангов весьма значительна. Их масса достигает 20...30% массы механического оборудования всего прокатного стана.

По назначению рольганги подразделяют на рабочие и транспортные.

Рабочие рольганги служат для подачи прокатываемого металла в валки и приема его из валков после проката. Их устанавливают непосредственно у клетей. К рабочим примыкают раскатные или удлинительные рольганги.

Транспортные рольганги используют для межоперационного перемещения проката между последовательно расположенными агрегатами. Их подразделяют на подводящие и отводящие, служащие соответственно для подачи металла к технологическим агрегатам и уборки его после обработки.

Рольганг с групповым приводом роликов состоит из отдельных секций, в каждой из которых содержится по 4...10 роликов (рисунок 2).



а - односторонний привод; б - двусторонний привод роликов с малым шагом;
 в - расположение осей зубчатых колес и промежуточных шестерен в плоскости
 разъема корпуса и крышки привода; г - смещение осей промежуточных шесте-
 рен вниз относительно плоскости разъема:

1 - ролик рольганга; 2 - зубчатое колесо; 3 - промежуточная шестерня;
 4 - редуктор; 5 - электродвигатель

Рисунок 2 – Схемы рольгангов с групповым цилиндрическим приводом [4]

Рольганг с индивидуальным приводом состоит из ряда отдельных роликов, установленных на литых или сварных рамах, закрепленных на фундаменте (рисунок 3).

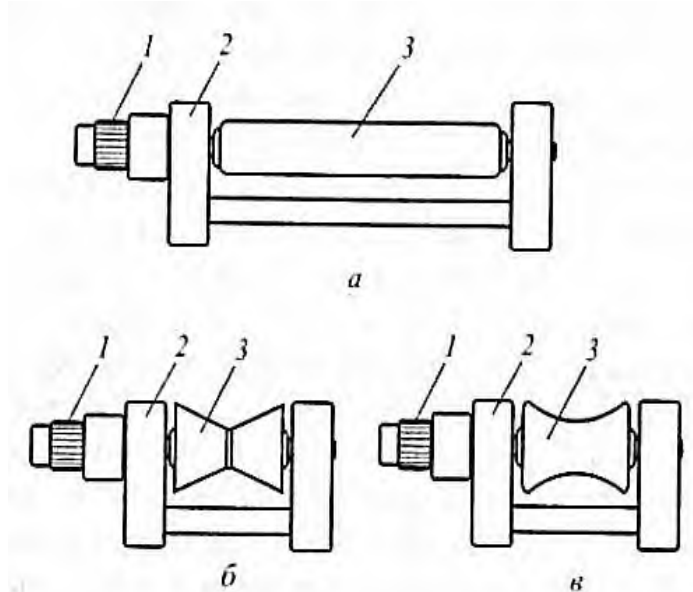
Каждый ролик приводится в движение мотор-редуктором. Расстояние между роликами зависит от длины и толщины слитка. Применяют сплошные кованные ролики, пустотелые из стального литья или труб, а также из чугуна.

Рольганги с групповым приводом имеют значительную массу. Их ремонт иногда требует значительной остановки стана. Один из недостатков группового привода – возникновение нагрузок из-за износа зубчатых зацеплений при реверсивной работе.

Рольганги с индивидуальным приводом роликов транспортируют прокат большой длины.

У рольгангов с малым шагом роликов может быть применен двусторонний привод, расположенный по обе стороны рольганга. При необходимости по-

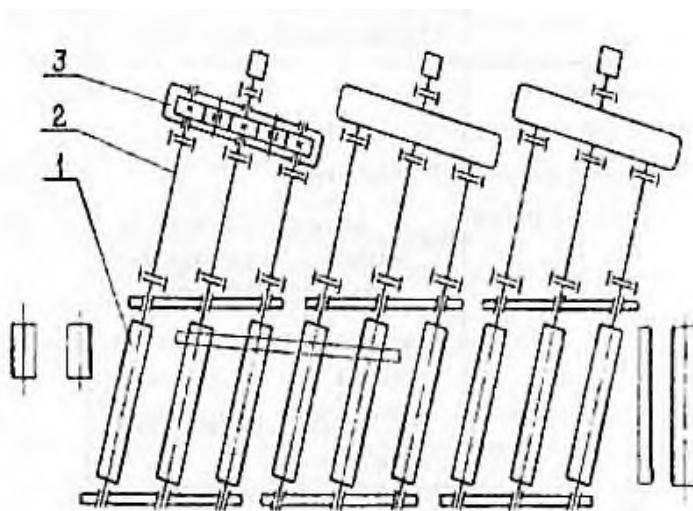
перечного смещения заготовки относительно продольной оси рольганга применяют косорасположенные ролики.



а - цилиндрическим; б - биконическим; в - профильным:
1 - мотор-редуктор; 2 - подшипниковая опора; 3 - ролик

Рисунок 3 – Рольганги с индивидуальным приводом и роликами [3]

В рольгангах с косорасположенными роликами традиционные конические приводы заменяют на цилиндрические. У рольганга конструкции ПО «Уралмаш» (рисунок 4) приводы с цилиндрическими зубчатыми передачами установлены под углом к оси рольганга и связаны с роликами зубчатыми шпинделями.



1 - блок косорасположенных роликов; 2 - промежуточное соединение;
3 - групповой привод блока

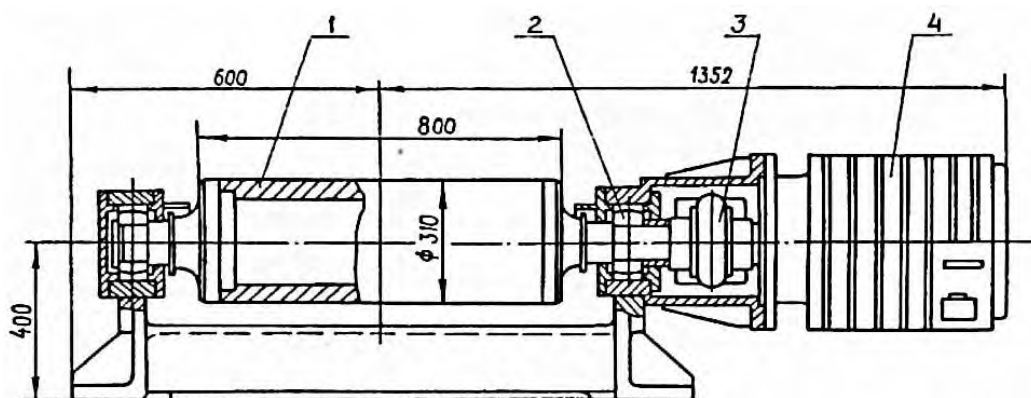
Рисунок 4 – Схема пакетирующего рольганга конструкции ПО «Уралмаш» [4]

Пакетирующие рольганги состоят из нескольких последовательно установленных секций косорасположенных роликов и применяются для непрерыв-

ного приема и сбора в пакет заготовок после разрезки проката на летучих ножницах.

Ролики с индивидуальным приводом, по сравнению с роликами, приводимыми от группового привода, имеют меньшую инерционность, более удобны при эксплуатации (так как возможна их быстрая замена при ремонте или аварии).

Для вращения роликов с индивидуальным приводом используют специальные рольганговые двигатели, устанавливаемые на лапах или на фланцах. Соединение вала двигателя и ролика осуществляется зубчатыми или эластичными муфтами (рисунок 5).



1 - ролик; 2 - подшипниковая опора; 3 - муфта; 4 - фланцевый электродвигатель

Рисунок 5 – Ролик рольганга 500 конструкции ВНИИМЕТМАШ с индивидуальным приводом [4]

Привод такого типа не получил широкого распространения из-за низкой надежности при эксплуатации.

Применение индивидуального редукторного привода определяется экономическими и конструктивными соображениями (необходимостью максимального удаления электродвигателя от нагретого металла). Этого можно достичь, применив редуктор с вертикальным зубчатым зацеплением или соединив электродвигатель с роликом с помощью карданного вала с большим углом наклона.

Транспортные рольганги снабжены индивидуальными приводами или только низкоскоростными электродвигателями, или их привод осуществляется через цилиндрический редуктор, позволяющий использовать более легкие и дешевые высокоскоростные электродвигатели пониженной мощности.

За рубежом широко распространены сменные приводы, состоящие из редуктора и электродвигателя, объединенных в монолитный блок. Редуктор сменного привода легко устанавливается на цапфу ролика и может передавать момент до 5000 Н м.

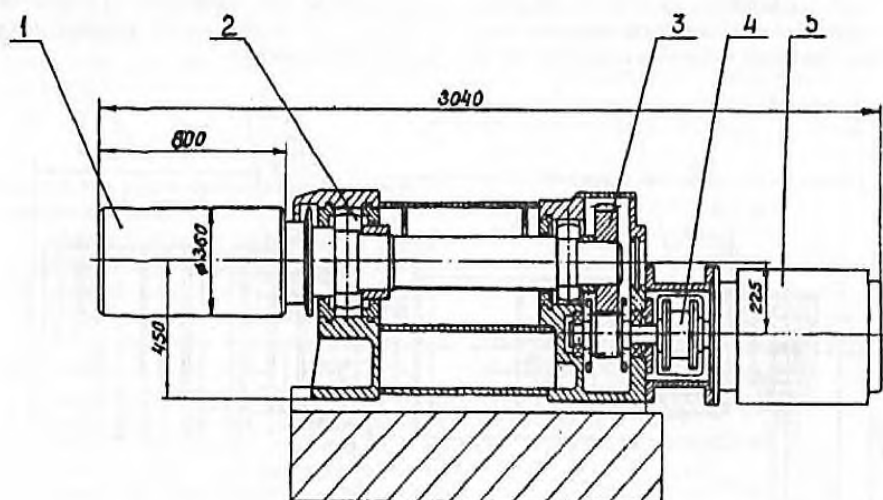
Исполнение роликов рольгангов может быть самым разнообразным. Для транспортирования тяжелых заготовок, сопровождающегося ударными нагруз-

ками, применяют цельнокованные ролики. Для более легких режимов работы широко используются ролики с закованными цапфами из толстостенных труб. Эти ролики имеют меньшую массу, инерцию, стоимость.

Разновидность полых роликов – ролики с сварными цапфами, бочку которых также изготавливают из толстостенной трубы.

Для исключения повреждений поверхностей проката или предохранения роликов от термических деформаций широко применяются ролики с бандажами из чугуна или жаропрочных сталей. Для снижения уровня шума при транспортировании холодных профилей и предохранения их поверхностей используют различные покрытия (резиновые, полимерные и др.).

Наряду с роликами, имеющими опоры по обеим сторонам бочки, распространены консольные ролики (рисунок 6), опоры которых расположены со стороны привода.



- 1 - ролик; 2 - подшипниковая опора; 3 - цилиндрическая зубчатая передача;
4 - муфта; 5 - электродвигатель

Рисунок 6 – Консольный ролик стана 800 конструкции ВНИИМЕТМАШ [4]

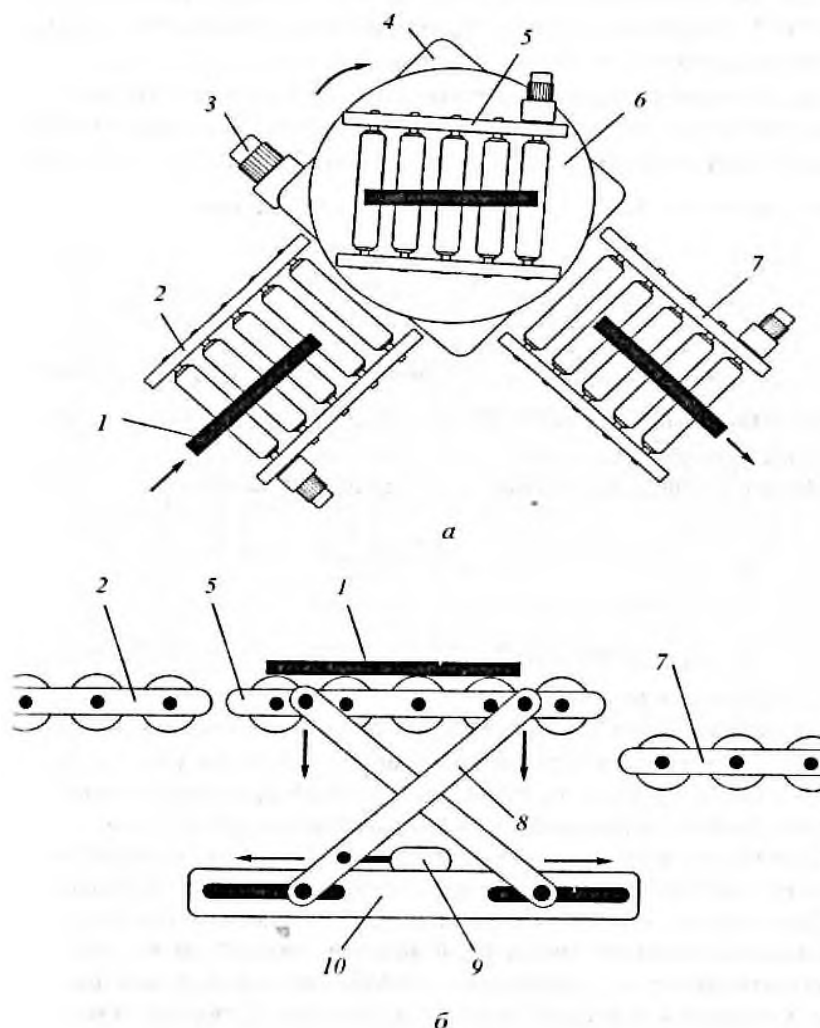
Использование консольных роликов позволяет значительно упростить сопряжение рольганга с примыкающими механизмами (конвейерами, переключателями, холодильниками и т.д.).

В качестве опор роликов рольгангов, в основном, применяют сферические роликовые подшипники, которые обеспечивают возможность прогиба роликов под нагрузкой.

Для надежной подачи в холодном состоянии стальных профилей в агрегаты линий адьюстажа (например, ножницы) и для четкой фиксации профилей на рольганге применяют электромагнитные ролики, позволяющие одновременно транспортировать несколько профилей, в отличие от тянущих роликов, осуществляющих их поштучное перемещение. В электромагнитных роликах под наружным цилиндрическим или профильным бандажом расположены катушки,

питаемые постоянным током, подводимым через контактные кольца, устанавливаемые на неприводном конце ролика. Магнитное поле увеличивает силу сцепления транспортируемого металла с роликами.

Ролики рольгангов стационарно крепят на фундаменте или промежуточных рамах, однако они могут быть установлены и на различных механизмах, например, на поворотных, подъемных или качающихся *столах* (рисунок 7) и *подвижных тележках*.



а - поворотный; б - подъемный: 1 - заготовка; 2, 5, 7 - секции рольганга; 3 - привод механизма поворота; 4 - стационарная платформа; 6 - поворотная платформа; 8 - механизм подъема; 9 - гидроцилиндр; 10 - направляющая

Рисунок 7 – Столы [3]

В этом случае ролики применяют для изменения направления движения проката, подачи заготовок в валки трехвалковых клетей или их передачи с одной транспортной линии на другую.

На рисунке 8 представлен общий вид подъемно-поворотного стола для рулонов горячекатаной полосы. Стол установлен за моталками непрерывного широкополосового стана 1700, в линии разветвления отводящего конвейера для горячих рулонов, и предназначен для подъема, поворота и передачи рулонов на

другую ветвь конвейера, расположенную под углом 90° к подводящему конвейеру. Положение рулонов вертикальное. Подъем верхней крестовины стола и рулона определяется плунжером гидравлического цилиндра. Поворот крестовины и рулона осуществляется от электродвигателя. Для подъема и опускания стола требуется 9 с.

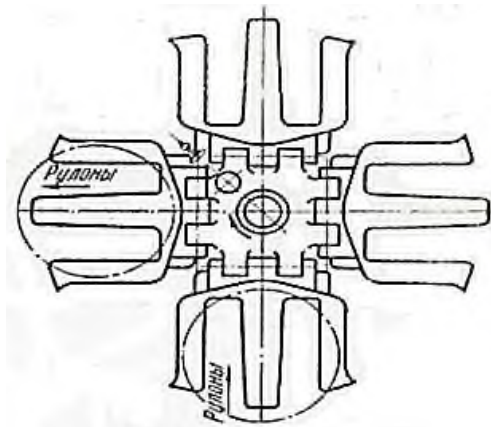


Рисунок 8 – Общий вид подъемно-поворотного стола для рулонов горячекатаной полосы [5]

На станах холодной прокатки для точной установки рулона в горизонтальном положении по оси разматывателя или моталки применяют подъемные столы с гидравлическим или пневматическим приводом.

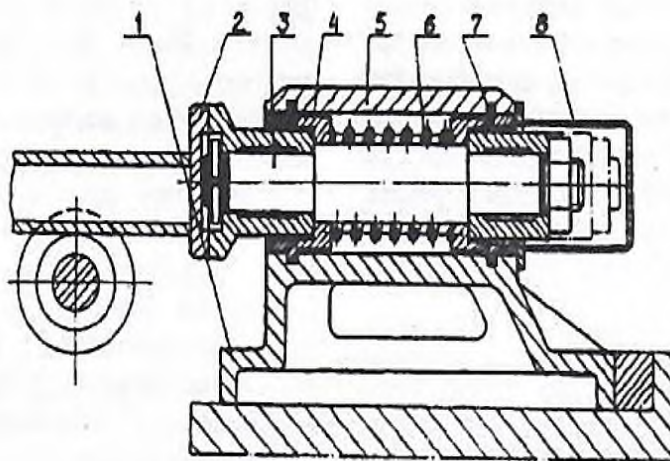
Плавная остановка проката на рольганге осуществляется торможением роликов. Для быстрой фиксированной остановки применяют *упоры*, подразделяемые на два основных типа – передвижные и стационарные.

Передвижные упоры применяют для регулируемой остановки проката разной длины, например, при его разрезке на мерные длины на ножницах или пилах. *Буферы* передвижных упоров устанавливают с возможностью продольного перемещения упора вдоль транспортной линии с помощью винтового или реечного механизма. При сквозном транспортировании проката буфер поднимают над транспортной линией специальным приводом.

Опускающиеся упоры встраивают в рольганг для остановки проката перед технологическими агрегатами или устройствами поперечной передачи, расположенными вдоль транспортной линии. В типовых конструкциях опускающихся упоров предусмотрены выдвижные щиты, воспринимающие в поднятом положении ударные нагрузки.

При сквозном транспортировании проката щиты упоров утапливаются ниже верхнего уровня роликов рольганга. Ударные нагрузки останавливаемых заготовок воспринимают в упорах массивные подвижные буферы и амортизаторы, установленные в корпусе. В зависимости от размеров, массы и скорости проката упоры имеют один или несколько амортизаторов, в качестве которых применяют пружины или резинометаллические поглощающие аппараты.

Пружинный амортизатор стационарного концевого упора трубопрокатного стана 140 (рисунок 9) установлен между двумя подвижными шайбами благодаря чему поглощает энергию останавливаемого проката, а также буфера при его возвращении в исходное положение. Энергоемкость упора составляет 1,15 кДж.



1 - корпус; 2 - накладка; 3 - буфер; 4 - шайба; 5 - корпус; 6 - амортизатор;
7 - втулка; 8 - кожух

Рисунок 9 – Концевой упор рольганга трубопрокатного стана конструкции ВНИИМЕТМАШ [4]

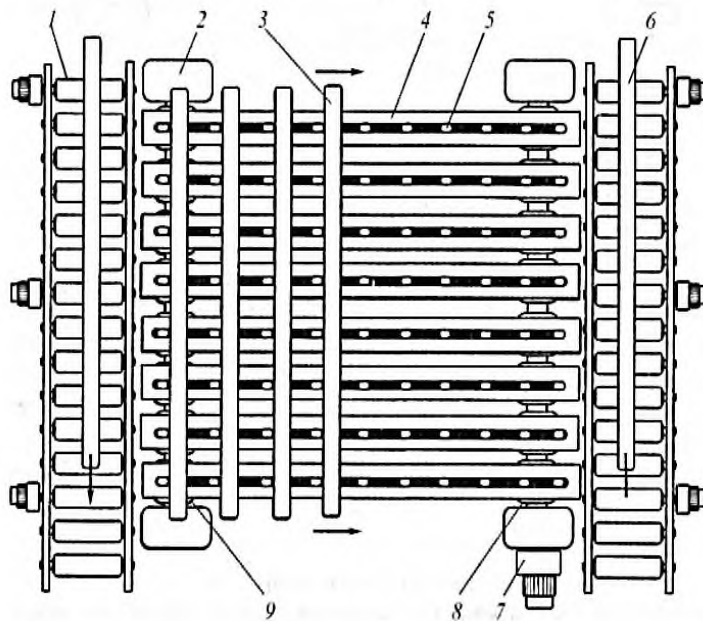
Приводы выдвигающих щитов опускающихся упоров могут быть электро-механические, пневматические или гидравлические.

Для перемещения металла в процессе прокатки, отделки и охлаждения применяют *транспортеры* и *холодильники* различных типов и конструкций.

Для перемещения заготовок и крупносортовых профилей металла поперек цеха (от подводящего рольганга к отводящему, к уборочному карману либо в соседний пролет цеха) применяют *канатные* (рисунок 10) или *цепные транспортеры (шлепперы)*.

Преимущества шлепперов – простота конструкции и возможность перемещения проката на значительные расстояния. Недостатки этих устройств – вытяжки и обрывы гибких тянущих органов, ограниченные возможности перемещения проката в противоположных направлениях.

Канатный шлеппер имеет 6...8 канатов, каждый из которых замкнут и натянут между приводным барабаном и натяжным блоком. На всех канатах в один ряд закреплены тележки с упорными пальцами. При прямом ходе тележек упорные пальцы перемещают заготовку от рольганга к рольгангу. При обратном ходе тележек пальцы утапливаются и проходят под заготовками. Данная конструкция тележек позволяет в любом месте между рольгангами поднимать пальцы и перемещать нужное количество заготовок по стеллажу. Сама тележка перемещается на катках по рельсовым дорожкам.



- 1 - заготовка; 2, 6 - рольганги; 3 - подшипниковая опора; 4 - стеллаж;
 5 - упорный палец; 7 - электродвигатель; 8 - приводной барабан;
 9 - натяжной блок

Рисунок 10 – Канатный шлеппер [3]

У цепного шлеппера приводные барабаны и натяжные блоки заменены приводными и холостыми звездочками, а вместо канатов натягиваются пластинчатые стальные цепи. Для транспортировки рулонов к звеньям цепей присоединяют специальные башмаки.

В отличие от цепных шлепперов, цепи которых передвигают металл по неподвижному настилу (из плит или рельсов) цепные конвейеры непосредственно воспринимают массу перемещаемого металла своими цепями, так как металл лежит на цепях, а не скользит по настилу.

Цепные транспортеры применяют в качестве холодильников листового и сортового проката.

Поперечное перемещение круглого проката и труб в ряде случаев осуществляется шнековыми транспортирующими конвейерами, содержащими приводные параллельные валы со спиральной наружной поверхностью. Рабочие поверхности и направляющие шнеков подвержены интенсивному износу из-за скольжения о транспортируемый прокат и от воздействия окалины.

В настоящее время широкое применение в прокатном производстве для поперечного перемещения проката получили *шагающие речные транспортирующие конвейеры*, свободные от недостатков шлепперных и шнековых транспортных устройств.

Для поперечного перемещения проката чаще всего используют *шагающие речные перекладчики*, конструкции которых также разнообразны, как и конструкции шагающих речных конвейеров.

Холодильник является связующим звеном между прокатным станом и агрегатами для отделки проката. Удельная масса холодильника в общей массе оборудования прокатного стана составляет 35...50%. Основные виды холодильников, применяемых на различных типах прокатных станом приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды холодильников, применяемых на различных типах прокатных станом [4]

| Типы станом | Применяемые холодильники |
|--------------|---|
| Заготовочные | Шлеперные канатные Реечные шагающие и кантующие |
| Сортовые | Шлеперные цепные Реечные шагающие и кантующие Роликовые |
| Листовые | Цепные с несущими цепями Шагающие реечные Дисковые Водяной резервуар |
| Трубные | Реечные шагающие и кантующие Цепные с встроенными захватами Шнековые |

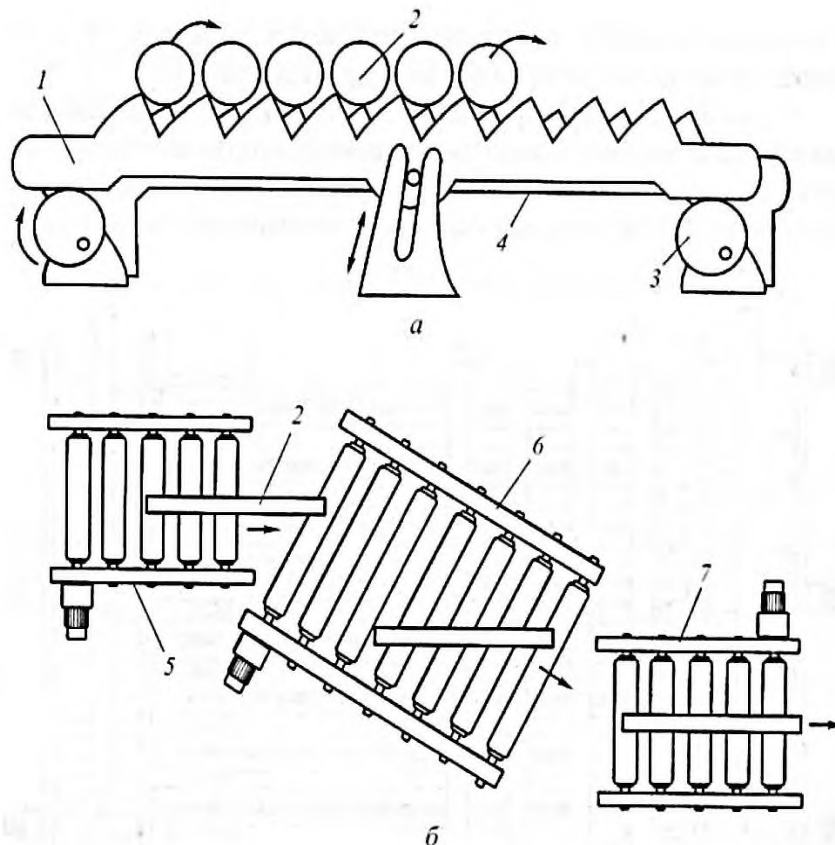
Для охлаждения сортовых профилей применяют *холодильники реечного и роликового типов*.

Реечный холодильник состоит из подвижных и неподвижных реек (рисунок 11, а).

Подвижные шагающие рейки совершают возвратно-поступательное движение по круговой траектории при помощи эксцентриковых механизмов, приводимых в действие электродвигателем.

Прокат забирается системой шагающих реек и переключается на неподвижные рейки. Длина холодильника с поперечным перемещением металла определяется максимальной длиной прокатанных полос и на действующих непрерывных мелкосортных станом достигает 125...150 м. Важным достоинством реечного холодильника является правка полос в процессе охлаждения.

Роликовый холодильник состоит из длинных приводных роликов диаметром 100...120 мм, расположенных под углом 35...40° к оси подводного рольганга (рисунок 11, б). Полоса в процессе охлаждения выполняет продольно-поперечное движение. На концах роликов предусмотрены конические шестерни, находящиеся в зацеплении с коническими шестернями, которые установлены на общем трансмиссионном валу, приводимым от электродвигателя через редуктор.



а - реечный; б - роликовый: 1 - подвижная рейка; 2 - прокат; 3 - эксцентрик;
4 - неподвижная рейка; 5 - подводящий рольганг; 6 - роликовая секция;
7 - отводящий рольганг

Рисунок 11 – Холодильники [3]

Достоинства роликового холодильника по сравнению с реечным: отсутствие сложных механизмов, связанных с возвратно-поступательным движением реек; непрерывное изменение поверхности соприкосновения полос с роликами холодильника, в результате чего предотвращается местное охлаждение полос. Продолжительность охлаждения полос можно регулировать скоростью вращения роликов. Охлаждающая поверхность роликового холодильника на 30...50% больше, чем у реечного.

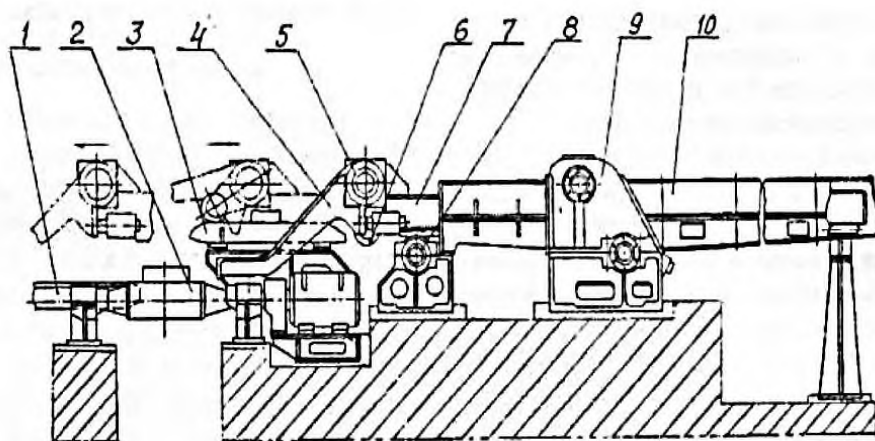
К недостаткам роликового холодильника следует отнести то, что в отличие от реечного холодильника он не обеспечивает в процессе охлаждения правку полос. Несмотря на простоту конструкции роликовые холодильники очень дорогие и громоздкие. Поэтому там, где по технологии нет обязательной привязки к определенному типу холодильника, предпочтение отдают реечному.

Толкатели предназначены для загрузки нагревательных печей, холодильников, передаточных устройств, сброса проката в карманы, а также для проталкивания по подинам печей либо стеллажам.

По конструкции толкатели могут быть *реечными, рычажными, винтовыми с механическим или гидравлическим приводом*. Наибольшее распространение получили реечные и рычажные толкатели.

Реечные толкатели имеют значительный регулируемый ход и состоят из двух корпусов с приводными шестернями и опорными роликами. В корпусах установлены выдвижные штанги с рейками, входящими в зацепление с приводными шестернями. Передние концы штанг соединены траверсой, на которой установлены толкающие пальцы. Эти пальцы могут поворачиваться в вертикальной и горизонтальной плоскостях в случае столкновения с прокатом при обратном ходе штанг. При незначительной длине сталкиваемого проката ширину толкателя можно уменьшить, располагая подвижные штанги с внешних сторон общего привода, у которого приводные шестерни и опорные ролики выполнены консольными.

В реечном толкателе конструкции ВНИИМЕТМАШ (рисунок 12), предназначенном для загрузки термической печи, предусмотрен автоматический подъем толкающих рычагов над рольгангом при их обратном ходе, что исключает возможность столкновения с прокатом, движущимся по рольгангу. Управление толкающими рычагами, закрепленными на поворотной траверсе, осуществляется консольным рычагом с роликом, взаимодействующим с копирной направляющей и через кулачки – с поворотной траверсой.



- 1 - стеллаж; 2 - подводящий рольганг; 3 - копирная направляющая;
 4 - толкающий рычаг; 5 - поворотная траверса; 6 - консольный рычаг с роликом;
 7 - выдвижная штанга с зубчатой рейкой; 8 - опорный ролик; 9 - корпус с
 приводной шестерней и опорным роликом; 10 - кожух

Рисунок 12 – Реечный толкатель конструкции ВНИИМЕТМАШ с автоматическим подъемом толкающих рычагов при обратном ходе [4]

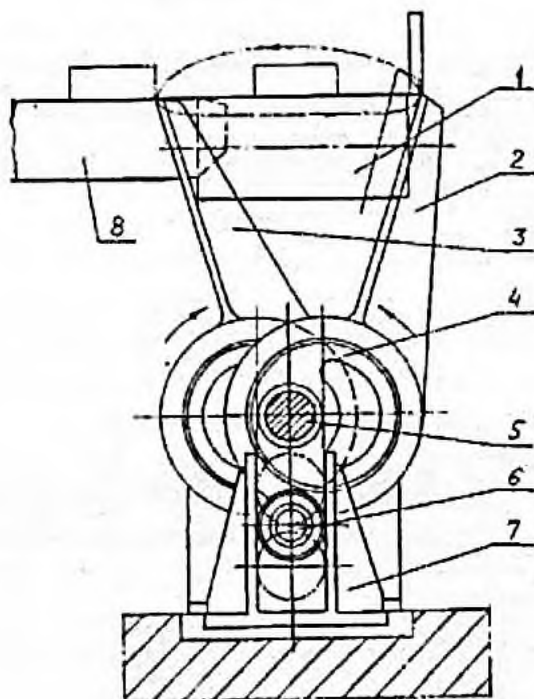
Клинкен-шлепперы – разновидность рычажных толкателей, осуществляющих дискретное шаговое перемещение проката кулачками, последовательно установленными на штангах, совершающих возвратно-поступательное движение от кривошипно-шатунного или рычажного механизма. При возвратном ходе штанг кулачки встречаясь с прокатом, лежащим на стеллаже, автоматически утапливаются. При установке на клинкен-шлеппере дополнительных штанг

со смещенным на 180° циклом движения достигается практически непрерывная транспортировка проката по настилу.

В *сталкивателях* *слябов* перемещение проката осуществляется двумя рядами толкающих рычагов, снабженных приводами ввода в рабочее положение и вывода из него при изменении направления сталкивания.

Рычажные сталкиватели с электромеханическим или гидравлическим приводом, по сравнению с речными сталкивателями, имеют более простую и легкую конструкцию, что обусловило их широкое применение для перемещения проката на небольшое расстояние, которое определяется размерами рычагов и углом их поворота.

Рычажный сталкиватель конструкции ВНИИМЕТМАШ (рисунок 13) может работать в реверсивном режиме, а также выполнять одностороннее смещение проката, например, с рольганга на настил холодильника. Перемещение проката осуществляется двумя группами рычагов, опирающихся на эксцентрики, развернутые друг относительно друга на 180° и закрепленные на приводном валу. При холостом ходе рычаги движутся ниже уровня рольганга, не препятствуя транспортировке проката. Сталкиватель имеет уменьшенный цикл работы, так как потери времени на холостой ход рычагов исключены из процесса.



- 1 - рольганг; 2, 3 - рычаги; 4 - эксцентрик; 5 - приводной вал; 6 - ролик;
7 - направляющие ролика; 8 - стеллаж

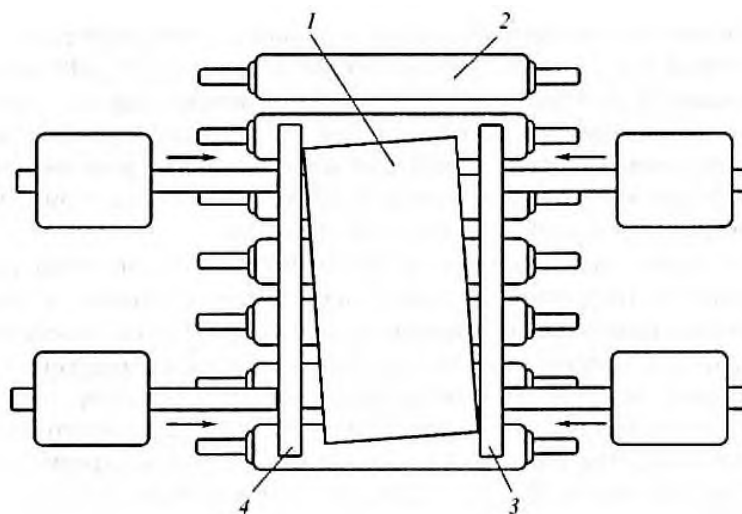
Рисунок 13 – Рычажный сталкиватель проката двухстороннего действия [4]

Манипулятор предназначен для передвижения металла по роликам рольганга параллельно их бочке для последующего точного направления металла в рабочие валки (рисунок 14). Одновременно с этим линейки манипулятора вы-

прямляют прокатываемую полосу (блوم, сляб, заготовки), если она искривилась при прокатке.

Типовая конструкция манипулятора обжимного стана имеет две продольные линейки, установленные вдоль оси рольганга с возможностью поперечного перемещения от отдельных приводов. В линейки встроены кантующие рычаги с приводом, осуществляющие кантовку раската перед подачей в калибр.

Манипуляторы применяют только при прокатке слитков и относительно толстой заготовки и полосы, т.е. на блюмингах, слябингах, рельсобалочных, крупносортовых и толстолистовых станах.



1 - прокатываемая полоса; 2 - рольганг; 3, 4 - линейки манипулятора

Рисунок 14 – Манипулятор [3]

Центрирующие устройства, предназначенные для ориентирования проката на рольганге, устанавливают перед клетями листовых станов, а также зачистными, клеймовочными и другими машинами. Линейки центрирующих устройств (рисунок 15) имеют общий привод и совершают синхронное движение в противоположных направлениях для установки проката по осевой линии рольганга.

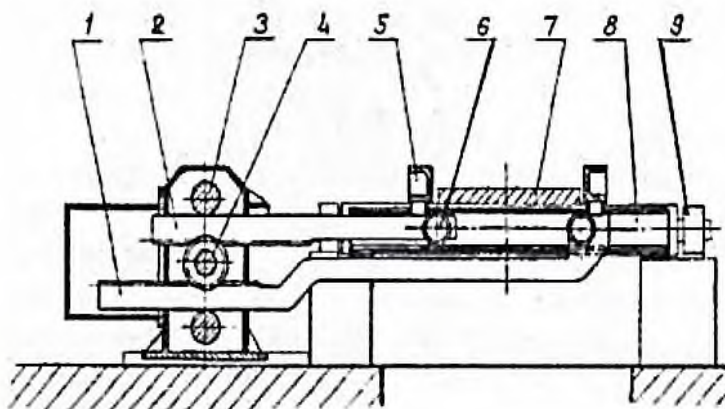
Кантователь поворачивает прокатываемую полосу обычно на 90° относительно ее продольной оси при переходе полосы от одной клетки к другой.

На заготовочных и сортовых станах для кантовки профильной полосы на ходу применяют кантующие втулки, устанавливаемые между роликами рольганга.

Для визуальной оценки качества верхней и нижней поверхностей толстых горячекатаных листов применяют рычажные кантователи, которые перекадывают лист с одного рольганга на другой и тем самым кантуют его на угол 180° .

Во многих случаях рулоны полосы, хранящиеся в вертикальном положении, в таком же положении передаются мостовыми кранами к агрегатам после-

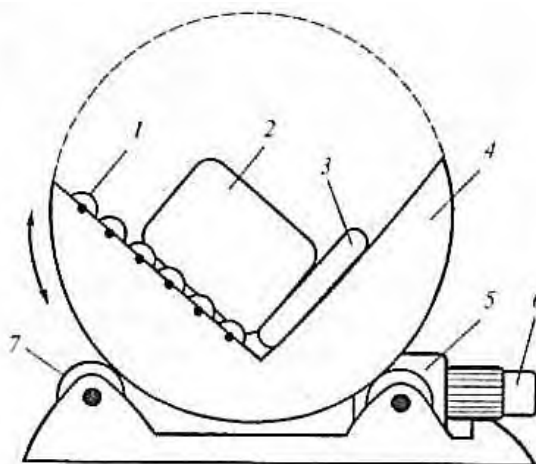
дующей обработки металла электромагнитами. Однако для подачи в размагничивающее устройство поточной линии или в агрегаты правки и резки рулоны должны быть расположены горизонтально.



1, 2 - реечные штанги; 3 - опорный ролик; 4 - приводная шестерня; 5 - линейка; 6 - опорный ролик; 7 - лист; 8 - направляющие; 9 - рольганг
Рисунок 15 – Центрирующие линейки листового стана [4]

Кантовка рулонов из вертикального положения в горизонтальное (или наоборот, если это требуется) осуществляется кантователем Г-образного типа (рисунок 16).

Рулон полосы посредством электромагнита мостового крана укладывают в вертикальном положении на горизонтальный стол. В начале поворота рамы рулон будет опираться своими образующими на два ряда наклонных роликов на вертикальном секторе рамы, в конце поворота рамы на 90° рулон окажется в горизонтальном положении. При дальнейшем повороте рамы до 5° , рулон сползет по наклонным холостым роликам и переместится на отводящий рольганг.



1 - ролик рольганга; 2 - рулон; 3 - стол; 4 - рама; 5 - редуктор; 6 - электродвигатель; 7 - опорный ролик

Рисунок 16 – Кантователь холодных рулонов полосы [3]

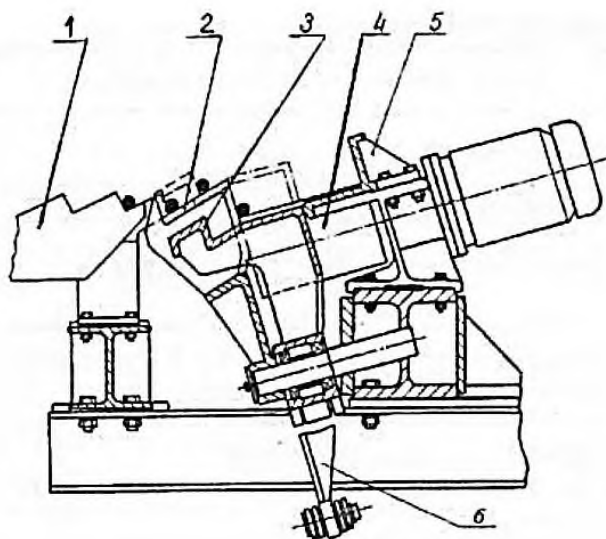
Опускающиеся и концевые упоры применяют, в основном, для остановки заготовок, листов и крупносортового проката, движущихся с невысокой скоростью. Ограничением для применения упоров является деформация проката при ударе о щит упора. Чем меньше сечение профиля и выше его температура и скорость движения, тем больше вероятность искривления и потери ориентации движения при ударе.

Для передачи на холодильник заготовок, движущихся непрерывно после разрезки раската на летучих ножницах, применяют *консольные приводные ролики с винтовыми ребрами по периметру*, встроенные между роликами подводящего рольганга.

Профили, охлаждаемые на холодильниках мелкосортных станов, имеют значительную длину, достигающую 100 м и более, небольшое сечение и на холодильник поступают со скоростью 10...30 м/с. Для торможения мелкосортного проката перед передачей на холодильник применяют различные тормозные устройства: *подъемные клапаны, прижимные фрикционные башмаки, подающие ролики, электромагниты, желоба, воронки* и т.д. Профили, движущиеся непрерывно после разрезки раската на летучих ножницах, обычно направляют на несколько параллельных *тормозных линий*. Для этого используют *переводные стрелки, распределительные устройства*, например, *вращающиеся распределительные конусы*.

Подводящие рольганги холодильников мелкосортного проката состоят из наклонных в вертикальной плоскости консольных или двухопорных роликов с индивидуальным приводом, между которыми встроены подъемные тормозные клапаны, осуществляющие отрыв профиля от рольганга, его торможение и передачу на рихтовальные листы в зону работы подвижных реек холодильника.

В подводящем рольганге с *устройством для торможения проката* (рисунок 17) фирмы «Маннесманн» (Германия) подъемные тормозные клапаны, установленные между наклонными роликами рольганга, имеют ступенчатую опорную поверхность и обеспечивают одновременный съем прутков с рольганга и передачу предыдущего профиля из впадины рихтовальных плит на рейки холодильника.



1 - рейки холодильника; 2 - рихтовальные плиты; 3 - подъемный клапан;
4 - ролик рольганга; 5 - стационарные плиты; 6 - привод подъема клапана
Рисунок 17 – Устройство для торможения проката и загрузки холодильника
сортового стана фирмы «Маннесманн» (Германия) [4]

Эффективность торможения проката на клапанах и в рихтовальном желобе может быть повышена на 30...50% в результате применения электромагнитов, увеличивающих силу прижатия профилей в плоскости торможения. Электромагнитное торможение следует применять после восстановления магнитных свойств железа (при уменьшении температуры проката ниже 650 °С).

2 Машины для резки проката

Для отрезки концов и резки прокатанных полос на мерные длины используют *стационарные* и *летучие ножницы* (таблица 3).

По конструктивному исполнению различают *ножницы с параллельными ножами, гильотинные, барабанные, кривошипно-рычажные, планетарные, маятниковые, дисковые* и *кромкокрошительные* [3-9, 12].

По назначению ножницы подразделяют на две группы: *ножницы поперечной резки* и *ножницы продольной резки*.

Таблица 3 – Классификация ножниц металлургических цехов [4]

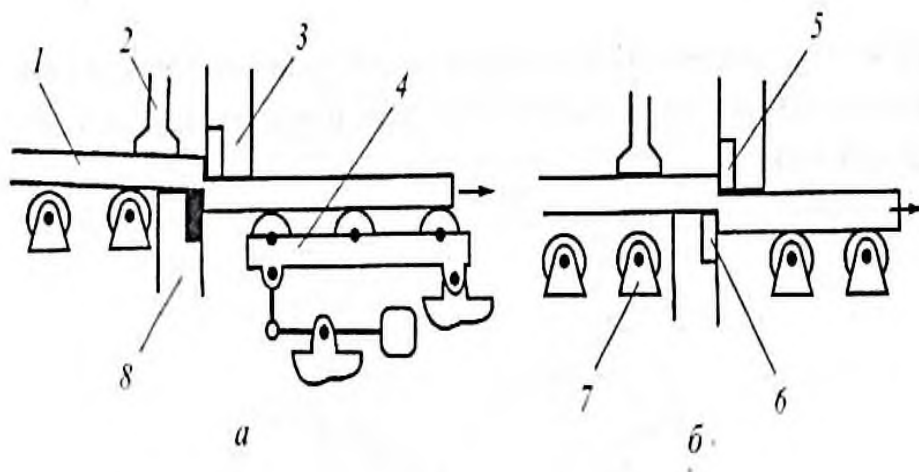
| Классификация ножниц по назначению | Конструктивные особенности ножниц |
|---|---|
| 1 | 2 |
| I. Ножницы поперечной резки | |
| А. Стационарные ножницы | |
| Разрезка блюмов и слябов в потоке обжимных станов | С плавающими ножами и нижним резом |
| Разрезка заготовок в потоке станов и кузнечных цехах | С верхним или нижним резом и параллельными или качающимися ножами |
| Разрезка сортового проката и фланцевых профилей в потоке сортовых станов | Гильотинные с верхним резом Со сложной кинематикой движения ножевых калибров |
| Разрезка листов и полос в потоке листовых станов | Гильотинные с верхним и нижним резом С катящимся резом |
| Разрезка скрапа в цехах переработки немерного разнородного металлолома | Гильотинные с верхним резом Аллигаторные |
| Б. Летучие ножницы | |
| Разрезка заготовок в потоке машин непрерывного литья заготовок | Возвратно-поступательные Качающиеся |
| Разрезка заготовок в потоке непрерывных заготовочных станов | Качающиеся Кривошипно-коромысловые Планетарные |
| Разрезка сортового проката и гнутых профилей в потоках непрерывных сортовых станов и профилегибочных агрегатов | Барабанные Кривошипно-коромысловые |
| Резка листов и полос в потоках станов и агрегатов поперечной резки | Барабанные Кривошипно-коромысловые и качающиеся |
| Разрезка катанки в потоке непрерывных проволочных станов и труб в агрегатах производства труб бесшовных и печной сварки | Барабанные Дисковые Кривошипно-коромысловые |
| II. Ножницы продольной резки | |
| А. Разрезка движущегося проката | |
| Разрезка спаренных прокатанных сортовых профилей | Специально калиброванные валки сортовых станов |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 |
|---|--|
| Обрезка боковых кромок лент, полос и листов | Двухпарные дисковые |
| Раскрой по ширине лент, полос и листов | Многопарные дисковые |
| Б. Разрезка неподвижного проката | |
| Обрезка боковых кромок листов | Гильотинные с верхним резом С катящимся резом дуговыми ножами |
| Разрезка листов по ширине | Гильотинные с верхним резом С катящимся резом дуговыми ножами |

Ножницы первой группы, у которых плоскость резания перпендикулярна к направлению подачи металла, отличаются большим конструктивным разнообразием и предназначены для резки металла в неподвижном состоянии (*стационарные ножницы*), а также в процессе его движения (*летучие ножницы*). Продольную резку, в основном листового и полосового проката в процессе его движения, осуществляют на *дисковых ножницах*, плоскость резания которых совпадает с направлением подачи металла.

Ножницы с параллельными ножами применяют для параллельной резки заготовок прямоугольного сечения в горячем и холодном состоянии (рисунок 18). Они могут быть как с верхним, так и с нижним резом.



а - верхним; б – нижним:

1 - полоса; 2 - прижим; 3, 8 - суппорты; 4 - подъемно-качающийся стол с грузовым уравновешиванием; 5, 6 - ножи; 7 - ролик

Рисунок 18 – Ножницы с параллельными ножами и резом [3]

Ножницы с верхним резом оставляют на нижней грани полосы заусенец, мешающий передвижению по ролику. Кроме того, наличие качающегося стола усложняет конструкцию всей установки. *Ножницы с нижним резом* не имеют перечисленных недостатков и поэтому получили большее распространение.

Угол заострения ножа - 90° . Материал – сталь 6ХНМ, 6Х2С и других марок с твердостью после термообработки до НВ 400.

Гильотинные ножницы с углом наклона ножа до 12° применяют, когда толщина разрезаемого листа незначительна по сравнению с его шириной. Такой наклонный нож режет не по всей ширине, что уменьшает силу резания.

Расчетная формула максимальной силы резания металла имеет вид:

$$P_{рез} = k_1 k_2 k_3 \sigma_b \alpha_l (b_l - h_{рез}),$$

где k_1 – коэффициент твердости металла (для мягких металлов $k_1=0,6$; для твердых металлов $k_1=0,7$);

k_2 – коэффициент притупления ножей;

k_3 – коэффициент увеличения бокового зазора между ножами;

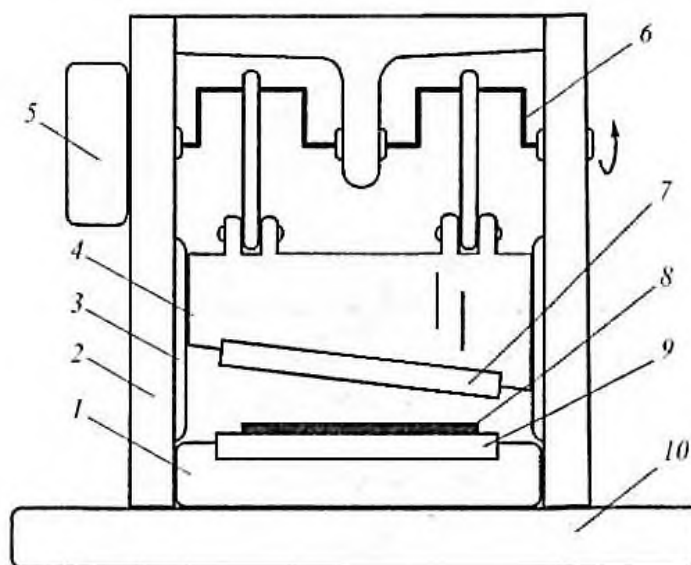
σ_b – предел прочности металла;

α_l и b_l – размеры прямоугольного поперечного сечения разрезаемой полосы (листа);

$h_{рез}$ – глубина надреза металла.

При горячем резе $k_2 = 1,1 \dots 1,2$; $k_3 = 1,15 \dots 1,25$, а при холодном резе $k_2 = 1,15 \dots 1,25$, $k_3 = 1,2 \dots 1,3$.

Гильотинные ножницы имеют станину, которая состоит из двух стальных литых или сварных стоек, установленных на фундаменте (рисунок 19). Вверху и внизу стойки соединены между собой траверсами. Стол, к которому крепится нижний нож, оснащен механизмом регулировки для установки необходимого зазора. Привод ножниц – электромеханический.



1 - стол; 2 - стойка станины; 3 - направляющий паз; 4 - суппорт;
5 - электропривод; 6 - эксцентриковый вал; 7, 9 - ножи; 8 - лист; 10 - фундамент

Рисунок 19 – Гильотинные ножницы [3]

Максимальная сила резания металла

$$P_{\text{рез}} = k_1 k_2 k_3 \sigma_B (2h_{\text{рез}} b_{\text{л}} - h_{\text{рез}}^2) / 2 \text{tg} \alpha_{\text{нкл}}$$

где $k_1 = 0,6 \dots 0,75$;

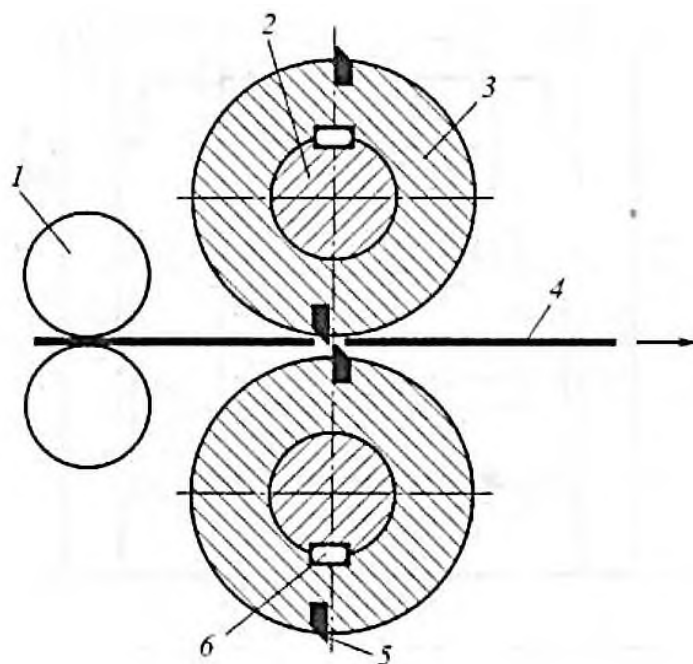
$k_2 = 1,2 \dots 1,3$;

$k_3 = 1,4 \dots 1,6$;

$\alpha_{\text{нкл}} = 6 \dots 1,5^\circ$ – угол наклона ножа

Барабанные (летучие) ножницы предназначены для поперечной резки проката на ходу. Свое название они получили в связи с тем, что основу их конструкции составляют барабаны с закрепленными на них ножами. Эти ножницы широко применяются для горячей резки мелких сортовых профилей и широких стальных полос.

При вращении барабана в противоположных друг другу направлениях ножи встречаются и осуществляется резание движущейся полосы, непрерывно подаваемой роликами с постоянной скоростью (рисунок 20).



1 - подающий ролик; 2 - вал; 3 - барабан; 4 - полоса; 5 - нож; 6 - шпонка

Рисунок 20 – Схема реза на барабанных ножницах [3]

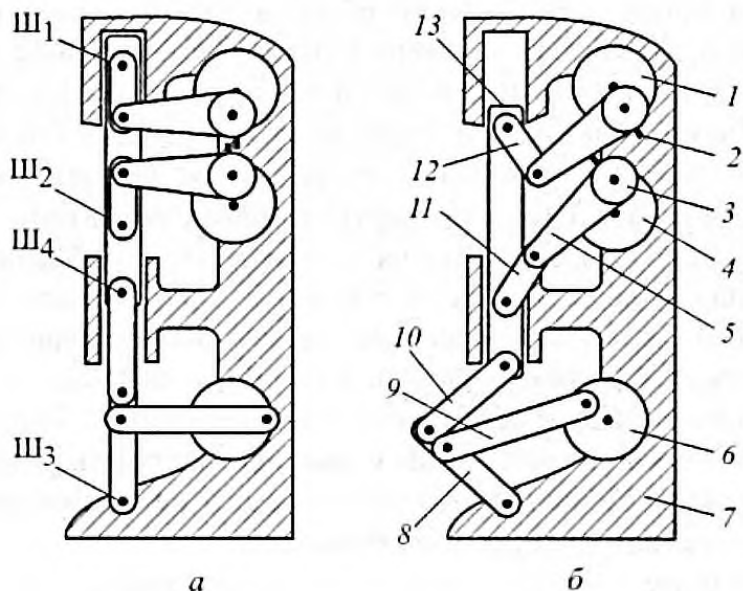
Резание осуществляется по всей ширине полосы с большой динамически приложенной силой. Но поскольку режущие кромки ножей движутся по окружности, плоскость реза не строго вертикальна. Однако этот недостаток не является существенным при резке тонких полос.

Кривошипно-рычажные летучие ножницы предназначены для резки толстой полосы. При описании барабанных (летучих) ножниц отмечалось, что в виду движения ножей по круговой траектории в момент резания они встреча-

ются с полосой под некоторым углом, вследствие чего возникают большие динамические нагрузки и плоскость резания не является вертикальной.

Для того, чтобы плоскость резания полосы была как можно более ровной и вертикальной (особенно при резании толстых полос) необходимо, чтобы ножи в период резания сближались, но оставались параллельными и составляли с движущей полосой угол 90° . Этим требованиям удовлетворяют кривошипно-рычажные летучие ножницы, ножи которых движутся по сложной эллипсовидной траектории. На участке резания эта траектория почти совпадает с горизонтальным движением полосы, ножи двигаются поступательно, сближаясь по вертикали. На рисунке 21 показана схема режущего механизма летучих кривошипно-рычажных ножниц с устройством пропуска реза.

При непрерывном вращении боковых приводных барабанов, суппорты, шарнирно соединенные с кривошипами, совершают плоское возвратно-поступательное движение, а серьги - качательное движение относительно шарниров Ш₁ и Ш₂, расположенных в боковых вертикальных пустотельных штангах, которые могут перемещаться вверх и вниз по направляющим (скользящие кривошпины) с помощью шатунно-кривошипного механизма. Если не надо резать полосу, боковые штанги опускают вниз. При этом ножи разойдутся: верхний нож вместе со своим суппортом отклонится вправо, а нижний – влево. При непрерывном вращении приводных барабанов ножи по-прежнему будут описывать эллиптические траектории, но не будут пересекаться между собой на участке резания.



а - режущий механизм в момент реза; б - режущий механизм в момент пропуска реза: 1, 4 - кривошпины; 2 - нож; 3 - суппорт; 5 - шатун; 6 - приводной барабан;

7 - станина; 8, 9, 10 - приводные шатуны; 11, 12 - серьги; 13 - штанга;

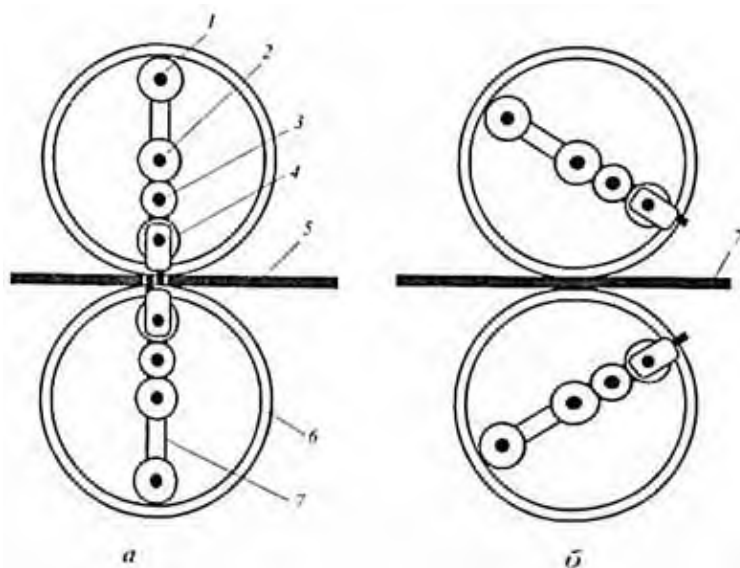
Ш₁-Ш₄-шарниры

Рисунок 21 – Кривошипно-рычажные ножницы [3]

Планетарные ножницы по сравнению с кривошипно-рычажными имеют более уравновешенную систему режущего механизма без возвратно-поступательно движущихся масс, что позволяет применять эти ножницы для резания металла, перемещающегося со скоростью до 20 м/с. Но и они имеют недостатки: сложную конструкцию механизма резания; большой суммарный маховой момент вращающихся масс ножниц требует применения мощного электродвигателя.

Механизм резания планетарных ножниц состоит из двух ведущих барабанов, внутри каждого из которых имеется планетарная зубчатая передача, состоящая из солнечной (центральной), промежуточной (паразитной) и планетарной шестерен (рисунок 22).

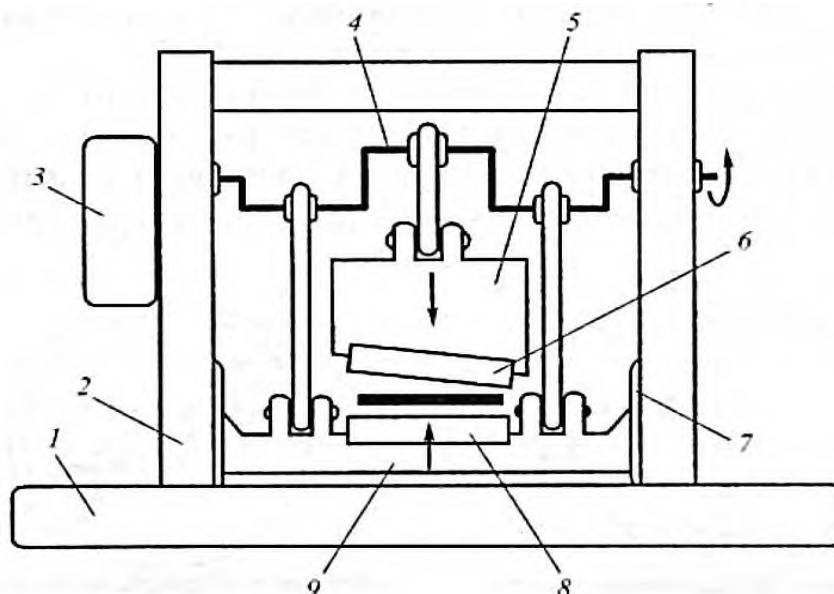
Валы всех шестерен установлены на роликовых подшипниках. Вал планетарной шестерни имеет три опоры. Между двумя крайними опорами на валу этой шестерни жестко закреплена режущая головка (суппорт) с ножом. Ножницы могут работать в двух режимах: без пропуска и с пропуском реза.



а - положение реза; б - положение поворота: 1 - балансир; 2 - солнечная (центральная) шестерня; 3 - паразитная (промежуточная) шестерня; 4 - планетарная шестерня; 5 - полоса; 6 - барабан; 7 - рама дифференциала

Рисунок 22 – Планетарные ножницы [3]

Маятниковые ножницы имеют простую конструкцию (рисунок 23) и надежны в эксплуатации, однако вследствие большой инерционности движущихся масс они весьма тихоходны и применяются для резания на ходу металла, перемещающегося со скоростью не более 2,5 м/с.

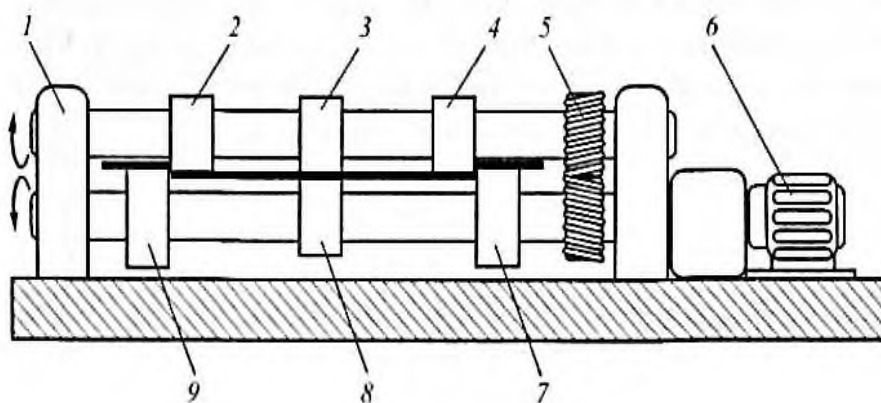


1 - фундамент; 2 - стойка станины; 3 - электропривод; 4 - эксцентриковый вал; 5, 9 - верхний и нижний суппорты; 6, 8 - ножи; 7 - направляющий паз

Рисунок 23 – Маятниковые ножницы [3]

На среднем эксцентрике верхнего приводного вала подвешен шатун с суппортом и верхним ножом, а на двух боковых эксцентриках боковых валов – нижний суппорт с ножом. При повороте эксцентрикового вала на 360° верхний суппорт опускается вниз на двойной эксцентриситет, а нижний суппорт поднимается вверх и возвращается в исходное положение; в промежуточном положении при сближении ножей произойдет резание заготовки. Поскольку верхний суппорт перемещается в направляющих пазах нижнего суппорта при резании движущейся заготовки, суппорты, занимавшие перед резанием наклонное положение, будут двигаться вправо (по движению заготовки) подобно маятнику, подвешенному на верхнем приводном валу. Возврат маятника в исходное положение (левое) обеспечивается моментом от контргруза. Крайнее положение маятника фиксируется амортизаторами. Ножницы работают в системе запусков электродвигателя от фотореле, установленного перед ножницами и засвечиваемого передним концом горячей заготовки, движущейся по рольгангу.

Дисковые ножницы применяют для разрезания широких листов на узкие ленты (ропуска) и для обрезки кромок у широких полос (рисунок 24). Для обрезки кромок применяют двухпарные дисковые ножницы, а для ропуска широкой полосы – многопарные.



1 - станина; 2, 4, 7, 9 - режущие дисковые ножи; 3, 8 - опорные диски;
5 - шестерня; 6 - электропривод

Рисунок 24 – Дисковые ножницы [3]

Для получения прямого реза без заусенцев дисковые ножи устанавливаются с радиальным перекрытием режущих кромок и небольшим боковым зазором. Угол заострения ножей – 90° . Чтобы лист не изгибался при резке, предусмотрены опорные диски.

Ножи изготавливают из хромовольфрамовой стали марки 5XB2C с твердостью после термообработки HRC 50...52.

Максимальная сила резания дисковыми ножницами с одной парой ножей

$$P_{\text{рез}} = k_1 k_2 k_3 \sigma_v (2h_{\text{рез}} b_{\text{л}} - h_{\text{рез}}^2) / 4 \text{tg} \alpha_{\text{нкл}}$$

Сравнивая выражения, определяющие максимальную силу резания дисковыми ножницами и гильотинными, видно, что при прочих равных условиях сила резания на дисковых ножницах примерно в два раза меньше, чем на гильотинных.

Порезка неровных боковых кромок, отрезаемых дисковыми ножницами, на мелкогабаритные куски осуществляется на *кромкокрошительных ножницах*. Для исключения аварий и получения листов правильной геометрической формы необходима точная синхронизация работы дисковых и кромкокрошительных ножей.

При резании на ножницах фасонных профилей происходит смятие их кромок и стенок, что не отвечает требованиям нормативных документов к качеству поверхностей торцев товарного проката и заготовок. Поэтому для резки на мерные длины двутавровых балок, рельсов, заготовок квадратного и круглого сечений и других фасонных профилей необходимо использовать *пилы*. Кроме того, в связи с развитием технологии резания и конструкций пил замена ножниц на пилы экономически целесообразна в агрегатах прокатных и кузнечных цехов, производящих заготовки большого сечения.

По назначению пилы можно подразделить на два класса: *пилы горячего резания (ПГР)* и *пилы холодного резания (ПХР)*. Каждый из этих классов объединяет пилы для разделения проката и заготовок в неподвижном состоянии (стационарные пилы) и движущегося проката (летучие пилы).

Стационарные ПГР могут быть *салазковыми, рычажными и роторными*. Их применяют на рельсобалочных, крупносортовых и трубозаготовочных станах для разделения фасонного проката, квадратных и крупных заготовок на товарные длины после выхода их из стана при температурах 650...1000°C. Нижний диапазон температур используют при разрезке термоупрочненного проката. На крупносортовых станах ПГР применяют после черновой группы клетей для качественного деления фасонного раската на кратные длины и обрезки без переднего конца.

На трубопрокатных агрегатах, предназначенных для производства труб диаметром до 426 мм, стационарные ПГР устанавливают перед станом для деления на кратные длины непрерывнолитых заготовок сечением до 340x340 мм.

Летучие ПГР с планетарным движением режущей каретки используют в качестве основного режущего средства на непрерывных агрегатах печной сварки труб, а также на трубопрокатных агрегатах для разделения в потоке на товарные длины труб диаметром 13...89 мм при скорости их движения 0,7...13 м/с.

Летучие ПГР с возвратно-поступательным движением режущей каретки используют для качественной разрезки круглых литых заготовок на одноручьевых машинах непрерывного литья медных сплавов при скорости движения заготовок 0,5...3 м/мин.

Стационарные ПХР применяют в прокатных цехах на участках раскроя под прокатку при необходимости получения качественной поверхности торца заготовки, а также на участках отделки готового проката и труб. Режущим инструментом этих пил являются диски из низколегированных сталей, фрезы с твердосплавными пластинами и абразивные круги.

Летучие ПХР с возвратно-поступательным движением режущей каретки устанавливают на трубоэлектросварочных агрегатах для разделения труб диаметром 10...76 мм на товарные длины и для той же цели – на профилегибочных агрегатах при делении закрытых профилей, которые не могут быть разрезаны на летучих ножницах.

Летучие ПХР с планетарным движением режущей каретки используют в потоке трубоэлектросварочных агрегатов для разрезки труб диаметром 10...76 мм при скорости движения труб 1...4 м/с. Материал труб – сплавы алюминия.

Основные конструктивные параметры (размеры, м) пильных дисков (номинальный наружный диаметр D , диаметр посадочного отверстия d , диаметр

крепящей диск планшайбы d_n , толщина диска S , форма зубьев и их шаг t) выбирают из следующих соображений.

Минимальный наружный диаметр определяют из условия перекрытия свободным полем диска сечения разрезаемого проката при движении центра диска по траектории, заданной механизмом подачи. Для обеспечения переточки номинальный диаметр диска должен быть в 1,1 раза больше номинального.

Свободное поле диска определяется вылетом периферии зубьев над крепящей диск планшайбой. Во избежание потери устойчивости равновесия плоской формы диска и повышения частоты собственных колебаний диска диаметр планшайбы принимают: $d_n = (0,4 \dots 0,5) D$.

Диаметр посадочного отверстия принимают: $d = (0,20 \dots 0,25) D$.

Заготовками для дисков являются листы прокатанные, как правило, на толстолистовых станах. В этом случае продольная и поперечная разнотолщинности листа, находящиеся в пределах допуска на его толщину достигают значений, не удовлетворяющих условиям работы полотна пильного диска. Разнотолщинность полотна диска приводит к росту тангенциальной составляющей силы резания, динамических сил на подшипниках вала диска, повышенному и неравномерному износу зубьев, поэтому при изготовлении дисков следует подвергать шлифовке их боковые поверхности.

Шаг и форма зубьев зависят от размеров сечения разрезаемого проката, толщины его полок и стенок (если профиль фасонный), а также от сил резания. С увеличением размеров разрезаемого сечения возрастает путь, проходимый каждым зубом по длине дуги контакта с заготовкой, в связи с чем растет объем сливной стружки, заполняющий впадину между зубьями. Во избежание забивания впадины стружкой шаг зубьев рекомендуется выбирать по формуле

$$t \geq 2ul/k_b k_o v,$$

где u и v – скорости диска соответственно подачи и окружная, м/с;

l – максимальная длина сечения разрезаемой заготовки, м;

k_b – коэффициент заполнения впадин зуба ($k_b = 0,2 \dots 0,4$);

k_o – коэффициент высоты зуба ($k_o = 0,4 \dots 0,5$).

При изготовлении дисков по современной технологии, допускающей число заточек зубьев до 3...5, принимают минимальные значения коэффициентов k_b и k_o . Зуб диска пилы под действием силы резания работает на изгиб как балка переменного сечения в заделке. Для ПГР нарезают зубья в виде равнобедренного треугольника с шагом 6...32 мм (рисунок 25, а), а также трапецеидальной формы (рисунок 25, б и в) с шагом 6...120 мм. Трапецеидальные зубья имеют ряд преимуществ на форсированных режимах подач ($u = 0,3 \dots 1,5$ м/с) вследствие меньших изгибающих напряжений в теле зуба и возможности ши-

рокого варьирования передним α и задним γ углами заточки. При резке изделий больших сечений угол α выполняют отрицательным для лучшего отвода теплоты от режущей кромки. Для снижения сил резания при резке тонкостенных профилей во избежание их деформации принимают угол α положительным. На практике применяют $\alpha=+10\dots-30^\circ$.

Задний угол заточки выбирают из условия

$$\gamma \geq \arctg(u_{\max}/v_{\min}),$$

где u_{\max} – максимальное значение скорости подачи;

v_{\min} – минимальное значение скорости резания, м/с.

Вследствие работы зуба на изгиб в условиях циклического нагружения долговечность диска зависит от усталостных напряжений, возникающих во впадинах между зубьями. В результате исследований, проведенных на ПГР и ПХР по выявлению влияния на долговечность диска радиуса ρ закругления во впадине зуба, выработаны следующие рекомендации: $\rho = (0,2\dots0,3) t$.

Для ПХР применяют диски с режущими элементами, показанными на рисунке 25.

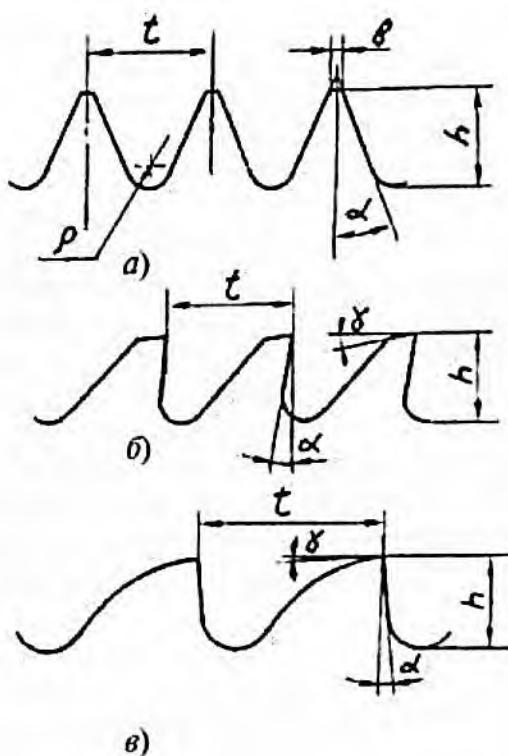


Рисунок 25 – Формы зубьев пил горячего резания [4]

Наибольшее распространение для крупносортового проката и заготовок получили зубья с шагом $t=6\dots14$ мм, шириной площадки притупления $b=2\dots4$ мм, углом $\alpha=30^\circ$ и радиусом закругления $\rho=2\dots4$ мм (рисунок 26, б). Процесс разделения проката такими зубьями лишь очень условно можно отнести к клас-

сическому процессу резания, так как толщина среза при реализуемых скоростях $v=80\dots135$ м/с и $u=0,005\dots0,04$ м/с составляет $0,4\dots4$ мкм, что на два-три порядка меньше радиуса закругления режущей кромки зуба. В связи с этим разделение проката сопровождается интенсивным разогревом поверхностных слоев металла и их выдавливанием из зоны деформации.

Наряду с разогревом металла происходит и разогрев периферии диска, что при гладком внешнем контуре (диск трения радиусом R (рисунок 26, а) приводит к потере устойчивости диска. Наличие зубьев препятствует образованию тарельчатости, способствует лучшему теплоотводу и отделению продуктов резания. На летучих ПХР зубья дисков имеют трапецеидальную форму (рисунок 26, в) шагом $t=5\dots10$ мм, $\alpha=10\dots15^\circ$ и $\rho=1,5\dots2,5$ мм. Форма зубьев и их шаг определяются условиями резания остролезвийным инструментом ($v=80\dots100$ м/с и $u=0,3\dots0,8$ м/с) тонкостенных гнутых профилей и труб.

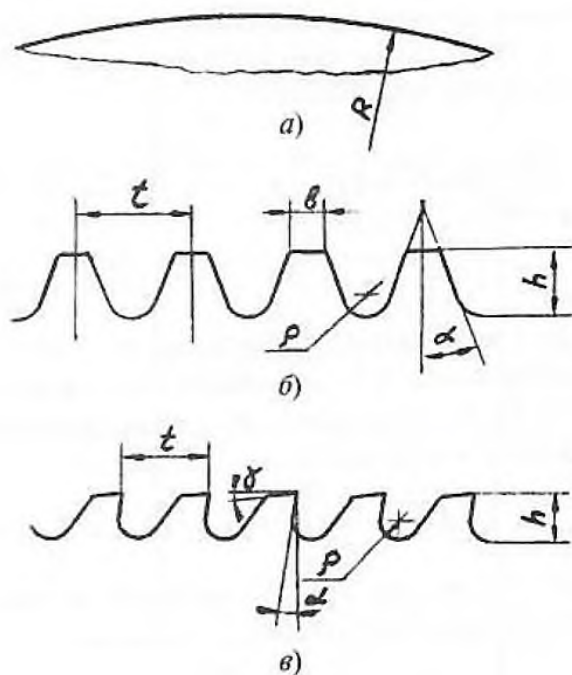


Рисунок 26 – Формы зубьев пил холодного резания [4]

Для резания проката применяют диски из углеродистых сталей 50 и У7А, марганцовистых 50Г, 50Г2, 65Г, хромистых 40Х и 37ХС, хромоникелевых 50ХН, 25ХН3А, хромованадиевых 9ХФ, 5ХФА, а также хромомолибденованадиевых 40ХМ1Ф, 65ХМФ и 9ХМФ. Однако примерно 60% металлургических заводов используют для дисков сталь 65Г.

Наиболее широко распространены стационарные ПГР, различающиеся траекторией движения пильного диска в зоне резания.

Конструкцию салазковых пил рассмотрим на примере пилы с диаметром пильного диска 2000 мм (СКМ), предназначенной для резания заготовок и сортового проката (рисунок 27).

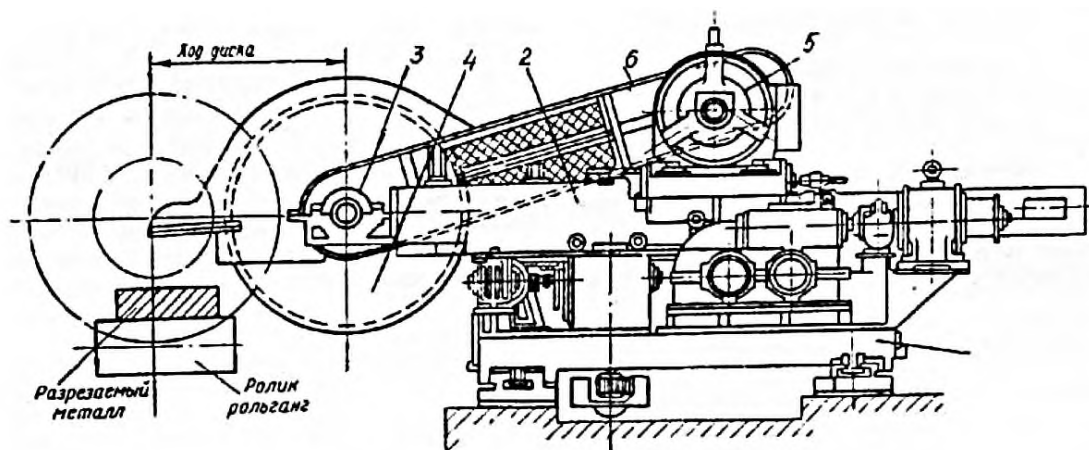


Рисунок 27 – Салазковая пила [4]

Пила состоит из литой станины 1 с установленными на ней салазками 2, несущими вал 3 пильного диска 4, двигатель переменного тока 5, вращающий диск через клиноременную передачу 6. Перемещение салазок осуществляется двигателем постоянного тока через реечную передачу. Привод подачи салазок установлен на станине пилы. Салазки перемещаются на опорах качения, от боковых перемещений их фиксируют направляющими скольжения.

В исходном положении непрерывно вращающийся диск находится в крайнем правом положении. При включении двигателя подачи салазки перемещают диск в зону резания. По окончании процесса резания происходит реверс двигателя подачи и ускоренный отвод салазок в исходное положение. Во избежание перегрузки двигателя привода диска скорость подачи автоматически регулируется.

Пила оборудована сталкивателем обрезков концов проката. Диск охлаждается водой высокого давления (3...4 МПа). Смазка для подшипников дискового и ведущего валов клиноременной передачи – жидкая. Корпус подшипников дискового вала имеет водяное охлаждение.

Недостатки открытых реечных передач и направляющих скольжения (требуется постоянный уход) привели к созданию рычажной четырехзвенной пилы (ПО «Уралмаш») с дисковым диаметром 1800 мм, предназначенной для установки на рельсобалочных и крупносортовых станах (рисунок 28).

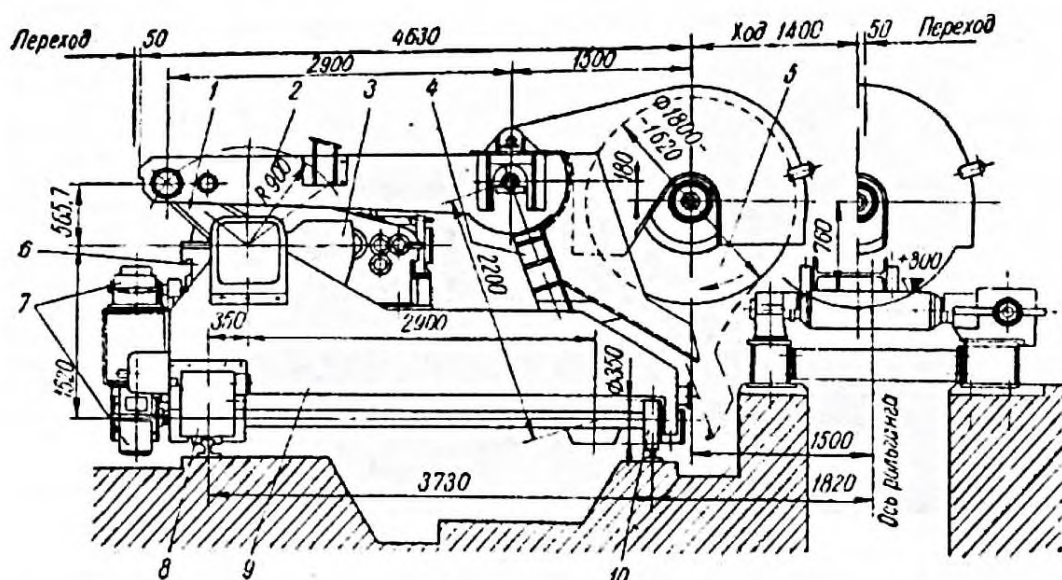


Рисунок 28 – Рычажная пила [4]

Пи́ла состоит из станины 9, на которой установлен на двух кривошипах 1, 4 шатун 2, несущий узел дискового вала 5 с присоединенным через зубчатую муфту двигателем переменного тока. Механизм подачи установлен на станине и состоит из двигателя постоянного тока, цилиндрического редуктора 6 и кривошипа с контргрузом 3, обеспечивающим статическое уравнивание системы. При работе пилы диск постоянно вращается; при включении на резание кривошип с контргрузом поворачивается на заданный угол, подавая шатун (подвижную раму) вперед. Длины кривошипов и шатуна подобраны таким образом, чтобы в зоне резания вал диска перемещался по траектории, близкой к горизонтальной. Остановка в крайних положениях осуществляется конечными выключателями. При отказе конечных выключателей срабатывают пружинный упор и муфта со срезными элементами.

Для перемещения вдоль фронта рольганга, используемого для раскря раската на заданные длины, пилы выполняют в передвижном исполнении. Для этого на станину пилы устанавливают привод 7 перемещения пилы вдоль рольганга, а станину монтируют на рельсовых направляющих 10, при этом стационарное положение станины фиксируется гидрозажимами 8.

Существенное расширение технологических возможностей пил благодаря реализации на них повышенных скоростей подач, превышающих скорости, достигнутые на салазковых и рычажных пилах примерно на порядок, при сохранении скорости резания около 100 м/с обеспечивают следующие преимущества их использования:

- производительность линии горячего резания повышается в 3-4 раза;
- стойкость пильных дисков возрастает в 3-6 раз;
- появляется возможность увеличения разрезаемых сечений в 4-5 раз;
- удельная работа резания уменьшается в 3-4 раза.

Рациональной конструкцией пилы для реализации высоких скоростей подачи, при которых развиваемая мощность резания достигает 10 МВт и процесс реализуется за доли секунды в результате использования энергии маховых масс, является *роторная конструкция*. Конструктивная схема роторной пилы РЗ-3200 с приводом диска через зубчатую передачу приведена на рисунке 29.

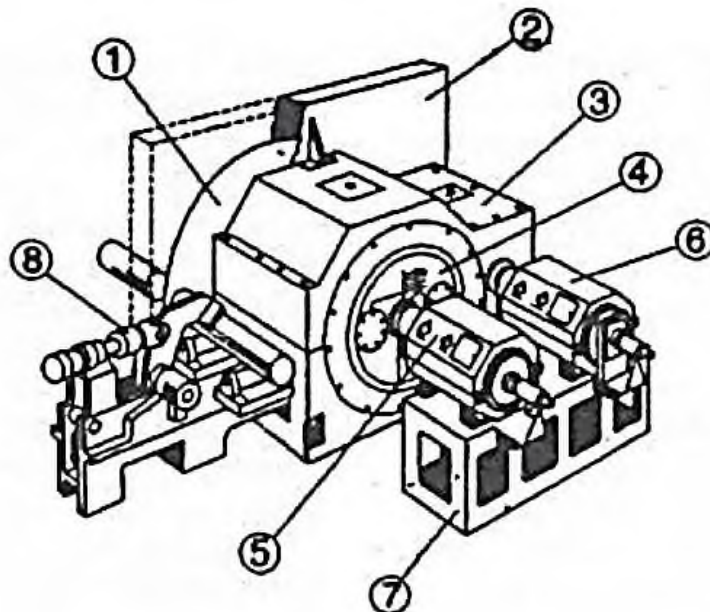


Рисунок 29 – Роторная пила РЗ-3200 [4]

Вращение пильного диска 1 осуществляется двигателем 5 через зубчатую передачу, размещенную в водиле 4. Ось этого двигателя и ось вала солнечной шестерни концентричны оси водила. Ось пильного диска эксцентрична оси водила, благодаря чему при повороте водила двигателем 6 посредством редуктора 3 диск подается в зону резания. Внутри водила для накопления кинетической энергии в период между резами размещены два маховика, соединенные с солнечным валом через ускорительную зубчатую передачу.

Таким образом, вал пильного диска и валы маховиков совершают при вращении водила планетарное движение. Редуктор 3, являющийся корпусом пилы, устанавливается на фундамент с приямком для коробов сбора стружки. Сверху диск закрыт кожухом 2, поэтому разлет стружки по цеху исключен. Двигатели постоянного тока 5 и 6 монтируются на отдельной стойке 7, устанавливаемой на фундаменте. Также отдельно на фундаменте устанавливается узел 8 зажима заготовки во время резания.

Смазка основных рабочих узлов пилы - жидкая циркуляционная. Охлаждение пильного диска и смыв продуктов резания осуществляются водой высокого давления. Корпус пилы также охлаждается водой.

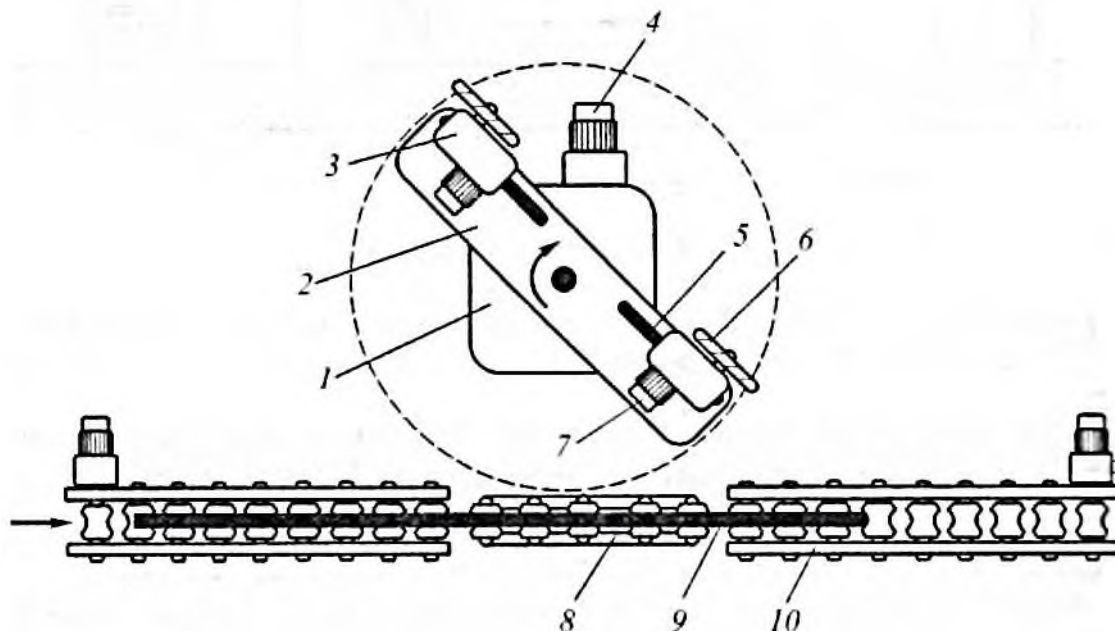
Порядок работы пилы следующий: после подачи заготовки в зону резания срабатывает узел зажима, предотвращая сдвиг и изгиб заготовки в процессе резания. Пильный диск вращается с заданной скоростью. Водило занимает угло-

вое положение, обеспечивающее разгон механизма до заданной скорости подачи. При поступлении команды на выполнение резания включается двигатель 6, осуществляющий разгон механизма подачи до заданной скорости и его торможение после резания до остановки в исходном положении. В паузе между резами двигатель 5 восстанавливает запас кинетической энергии механизма резания, необходимый для следующего цикла работы.

Сравнение роторных пил с различными приводами диска – через передачи клиноременную и зубчатую – показывает, что зубчатая передача более компактна, имеет наименьшую металлоемкость и мощность приводов. Но при выборе типа пилы для каждого конкретного случая необходим детальный анализ широкого круга параметров.

Летучие пилы горячего резания изготавливают двух типов: с вращательным движением режущей каретки для резки труб в линиях трубопрокатных агрегатов и агрегатов печной сварки при скоростях движения труб 1...13 м/с и возвратно-поступательным движением режущей каретки для разделения непрерывнолитых заготовок из цветных сплавов при скорости их движения 0,008...0,05 м/с.

Резку труб на мерные длины иногда осуществляют летучей пилой с непрерывно вращающимся в горизонтальной плоскости столом (рисунок 30). Две каретки при вращении стола перемещаются поступательно и параллельно друг другу. Конструкция пилы позволяет резать без остановки трубы, движущиеся со скоростью до 400 м/мин, на мерные длины 8...12 м.



- 1 - неподвижная платформа; 2 - вращающийся стол; 3 - каретка;
 4 - электропривод механизма поворота стола; 5 - направляющая каретки;
 6 - режущий диск; 7 - электропривод режущего диска;
 8 - механизм подъема трубы; 9 - труба; 10 - секция рольганга

Рисунок 30 – Летучая пила для резки труб [3]

Конструкции летучих пил горячего резания с возвратно-поступательным движением режущей каретки по существу представляют собой известные решения стационарных пил горячего резания, перемещаемых синхронно с разрезаемой заготовкой простым механизмом сопровождения.

По конструктивному исполнению летучие и планетарные пилы различаются незначительно.

Характерная конструктивная схема летучей планетарной пилы горячего резания приведена на рисунке 31.

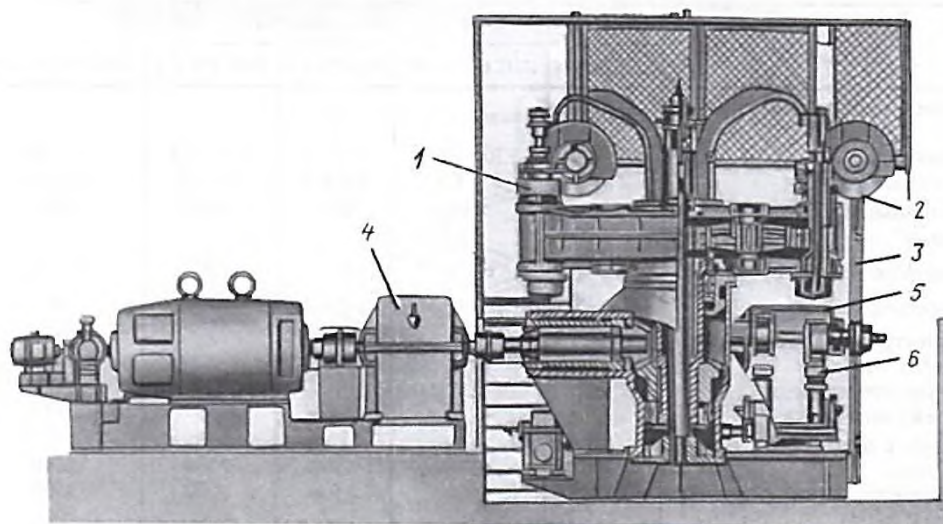


Рисунок 31 – Летучая планетарная пила горячего резания [4]

Основой конструкции является непрерывно вращающийся в горизонтальной плоскости планетарный редуктор, на периферийных валах которого смонтированы режущие каретки 1 со встроенными электродвигателями переменного тока. На валах последних в маховичных шайбах смонтированы пыльные диски 2.

Режущие каретки совершают плоскопараллельное движение по окружности, что обеспечивается системой планетарных колес редуктора, солнечная шестерня которого неподвижна. Один оборот планетарного редуктора соответствует длине отрезаемой трубы при постоянной скорости его вращения, соответствующей скорости движения трубы. Изменение длины отрезаемых труб достигается в результате работы пилы в режиме переменной скорости планетарного редуктора, а также программного управления механизмом подачи трубы на резку с использованием двух режущих кареток. Первый способ регулирования длины отрезаемых труб приемлем при достаточно низких скоростях их движения ввиду большого момента инерции планетарного редуктора.

Механизм подачи осуществляет радиальную, по отношению к диску, подачу трубы в зону резания кулаком 3, укрепленным на валу, который приводится в действие от шестеренной клетки 4 через карданный шпиндель. Вал имеет

два эксцентрика и смонтирован в расточках балансира 5, покачивающегося вокруг оси, неподвижно закрепленной на корпусе. Каждый эксцентрик взаимодействует со своей режущей кареткой. Наружное кольцо эксцентрика, при выдвинутом вверх пневмоцилиндром башмаке 6, контактируя с ним, поднимает кулак с разрезаемой трубой в зону резания. Регулирование верхнего положения кулака (величины перекрытия на отрезке) осуществляется дистанционно электромеханическим приводом подъема корпуса башмаков. Синхронизация скоростей пилы и трубы осуществляется цифроаналоговой системой с применением импульсных датчиков, обеспечивающей точность отрезки труб до 15 мм.

Летучая пила модели ЛПГ 114 х 6 отличается от рассмотренной наличием дополнительного механизма подачи, который наклоняет режущий диск навстречу трубе, что обеспечивает увеличение подачи, необходимой для разрезки трубы диаметром до 114 мм.

Летучая пила модели ЛПГ 89 х (8-12) (рисунок 32) работает в режиме запусков, разрезая выходящую из редукционного стана трубу на две части в соответствии с длиной холодильника. Подача трубы проводится консольно укрепленной на вращающемся рычаге вилкой, которая включается с помощью электромагнита. Такой механизм имеет малые маховые массы, что существенно при работе в режиме запуска.

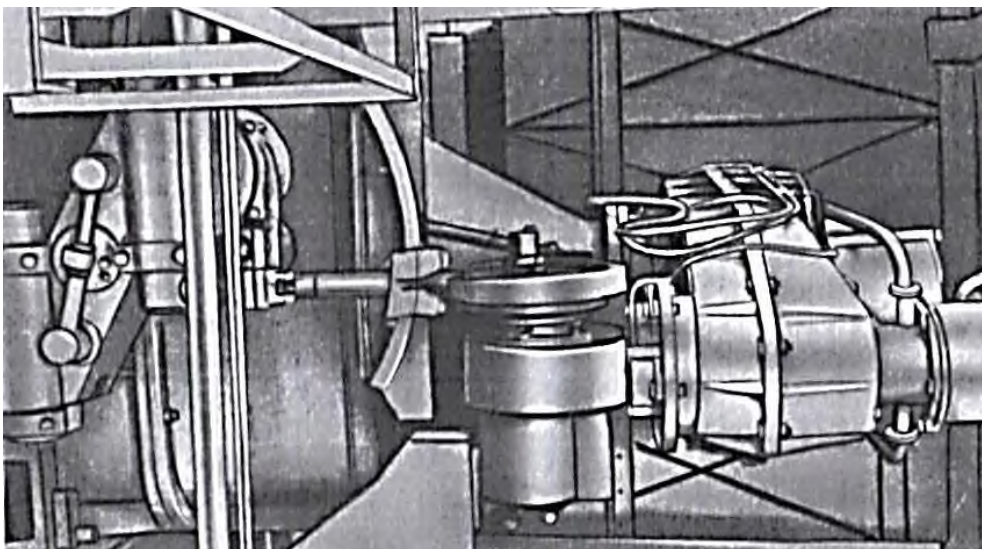


Рисунок 32 – Летучая планетарная пила, работающая в режиме запусков [4]

Пилы созданы ВНИИМЕТМАШ совместно со Старокраматорским машиностроительным заводом.

Стационарные ПХР с дисками из углеродистых и низколегированных сталей со скоростью резания до 135 м/с и скоростью подачи до 0,02 м/с по конструкции незначительно отличаются от салазковых и рычажных ППР.

Недостатки, связанные с низким качеством поверхностей резания, не-

удовлетворительными шумовыми характеристиками, разлетом раскаленных частиц продуктов резания, делают этот тип пил неконкурентоспособным с ПХР, в которых инструментом являются диски (отрезные фрезы), оснащенные твердосплавными режущими элементами, позволяющими реализовать скорости резания 1,2...3 м/с при скоростях подачи 0,1...1 м/мин.

Достаточно низкая производительность ПХР с твердосплавными дисками компенсируется следующими преимуществами: высоким качеством получаемых поверхностей, исключаящую последующую операцию удаления заусенцев, возможностью применения пакетной резки профилей и труб, сокращающей время вспомогательных операций, высокой стойкостью и долговечностью режущего инструмента.

ПХР наиболее успешно применяют в металлургических цехах фирм «Центро-Мургордсхаммар АВ» (Швеция) и «Вагнер» (Германия). На металлургических заводах стран СНГ эти пилы нашли применение в трубопрокатных цехах для пакетной резки труб на мерные длины и на сортовых станах заводов качественной металлургии.

Для резки заготовок из углеродистых, конструкционных и легированных сталей, сечение которых эквивалентно кругу диаметром 50...630 мм, изготавливают пилы с диском диаметром 630...2000 мм. Срок службы дисков – 8...30 м² разрезанных сечений.

Конструктивные особенности ПХР отличаются направлением подачи инструмента на разрезаемый прокат. Для поштучной резки, как правило, применяют горизонтальное направление подачи (рисунок 33). Пакетная резка труб или профилей осуществляется при вертикальной подаче диска.

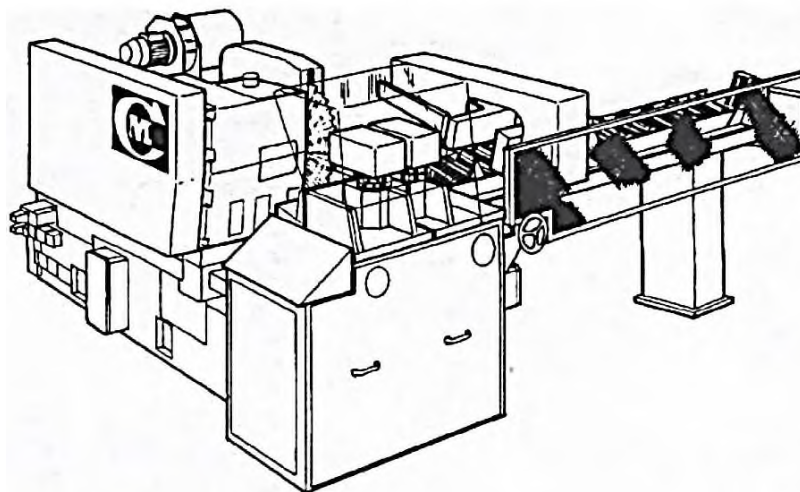


Рисунок 33 – Стационарная пила холодного резания крупных профилей [4]

Основные конструктивные особенности пил связаны со сведением к минимуму вибраций. Для этого станину выполняют литой и жесткой, направляющие режущей головки – с предварительно поджатыми роликовыми элементами, редуктор привода диска – с механизмом выбора зазоров, механизм подачи - с

шариковым ходовым винтом, а пилы оборудуют мощным двухсторонним гидрозажимом разрезаемой головки.

Привод механизмов резания и подачи осуществляется от двигателей постоянного тока для выбора оптимальных режимов резания.

Летучие пилы холодного резания используют для резки труб и гнутых профилей в линиях трубоэлектросварочных и профилегибочных агрегатов.

Существуют три принципиально различных конструкции таких пил:

- реверсивные с возвратно-поступательным движением сопровождения режущей кареткой движущегося проката и возвратно-поступательным движением узла пильного диска при подаче в зону резания;

- реверсивные с возвратно-поступательным движением сопровождения режущей кареткой движущегося проката и вращательным движением подачи узла пильного диска в зону резания;

- параллелограммные с вращательным плоскопараллельным движением режущей каретки, обеспечивающим функции сопровождения проката и подачи пильного диска в зону резания.

Реверсивная пила с диаметром диска 560 мм состоит из следующих основных узлов (рисунок 34):

- станины 1 с направляющими 2;

- каретки 3 с установленными на ней механизмами резания 5, подачи 4 и зажима профиля при резке;

- электромеханического привода перемещения каретки по направляющим станины, состоящего из зубчатой рейки 7, шарнирно соединенной с кареткой, реечной шестерни на выходном валу редуктора 6, приводимого от двигателя 8 постоянного тока, приводом механизма для гидрозажима профиля, гидромотора и гидроцилиндра, приводящего в действие механизмы подачи пильного диска;

- системы электропривода и автоматического управления механизмами летучей пилы, которая обеспечивает их работу в заданных режимах и последовательности;

- коллектора 9, обеспечивающего питание электро- и гидроприводов, расположенных на каретке.

Стационарная гидравлическая станция подает рабочую жидкость к гидромеханизмам, причем гидрозажим профиля производится с ускорением до 10 м/с^2 .

Рабочий цикл пилы содержит следующие операции:

- разгон каретки из исходного положения до скорости профиля;

- синхронное перемещение каретки с профилем, во время которого осуществляется разделение профиля на отрезки заданной длины и отвод пильного диска из зоны резания;

- торможение и реверс каретки в исходное положение.

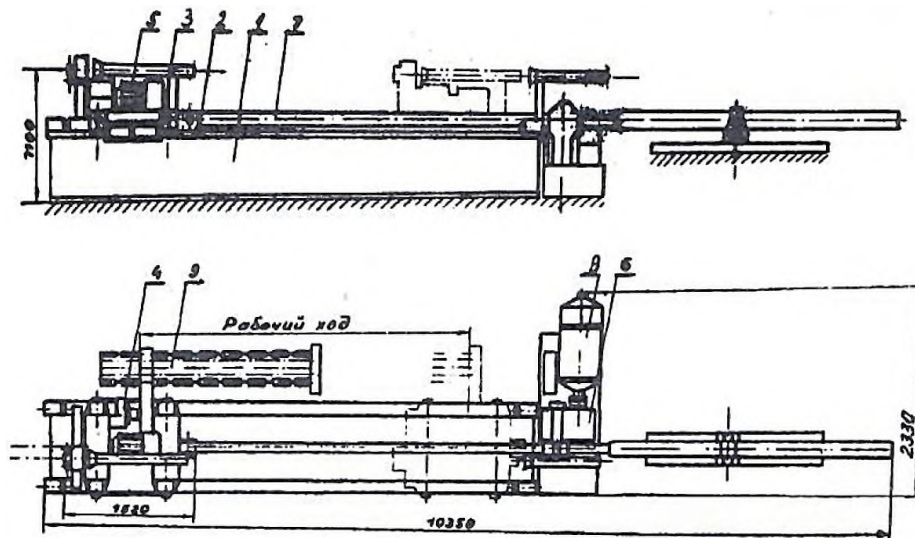


Рисунок 34 – Конструктивная схема летучей реверсивной пилы [4]

Для обеспечения производительности рельсобалочных и крупносортовых станов разрезка раскатов на них осуществляется расположенными вдоль фронта подводящего рольганга передвижными салазковыми или рычажными пилами, число которых выбирается исходя из максимальной длины раскатов и минимальных длин мерных кусков, получаемых при одновременной подаче всех пил в зону резания. Расстояние между пилами устанавливают с пульта управления, для чего современные станы оборудуют программными средствами, оснащенными датчиками температуры проката для коррекции длины отрезаемых изделий с учетом температуры в момент резания. Пилы перемещаются вдоль рольганга по рельсовым направляющим от привода, установленного на станинах и фиксируются во время резания гидравлическими зажимами.

Для увеличения пропускной способности участков разрезки применяют способ, при котором операции подачи, разрезки и уборки проката совмещены по времени, а разрезку раската осуществляют на стеллаже. В состав оборудования такого участка входят подводящий рольганг, подающий раскат к фронту пил, стеллаж, на котором проводится разрезка проката на мерные длины, отводящий рольганг для уборки разрезанного раската, двухпальцевый клинкошлеппер для поперечной подачи проката с подводящего рольганга на стеллаж и далее – на отводящий рольганг.

Такой способ резания позволяет одновременно проводить подачу раската к фронту пил, распиловку и отвод разрезанных полос с участка резки. Производительность участка с поперечным перемещением раската в зоне пил примерно в два раза выше, чем на участках резки, оборудованных только одним рольгангом.

3 Правильные машины

Для устранения выходящих за пределы заданных техническими требованиями отклонений формы проката (*отклонение от прямолинейности, скрученность*, а для труб – также и *овализация поперечного сечения заготовки*) предназначены правильные машины.

Отклонение от прямолинейности сортового проката и труб называют *продольной кривизной*. *Общая кривизна* характеризуется максимальным прогибом в миллиметрах на всей длине проката, *относительная* – на длине 1 м. Отклонение от прямолинейности поверхности в продольном направлении для полос и листов называют *волнистостью*, а искривление в плоскости полосы – *серповидностью*. *Коробоватость* – искривление поверхности одновременно в продольном и поперечном направлениях. *Скрученность* – деформация проката, обусловленная угловым поворотом сечений, последовательно расположенных вдоль оси.

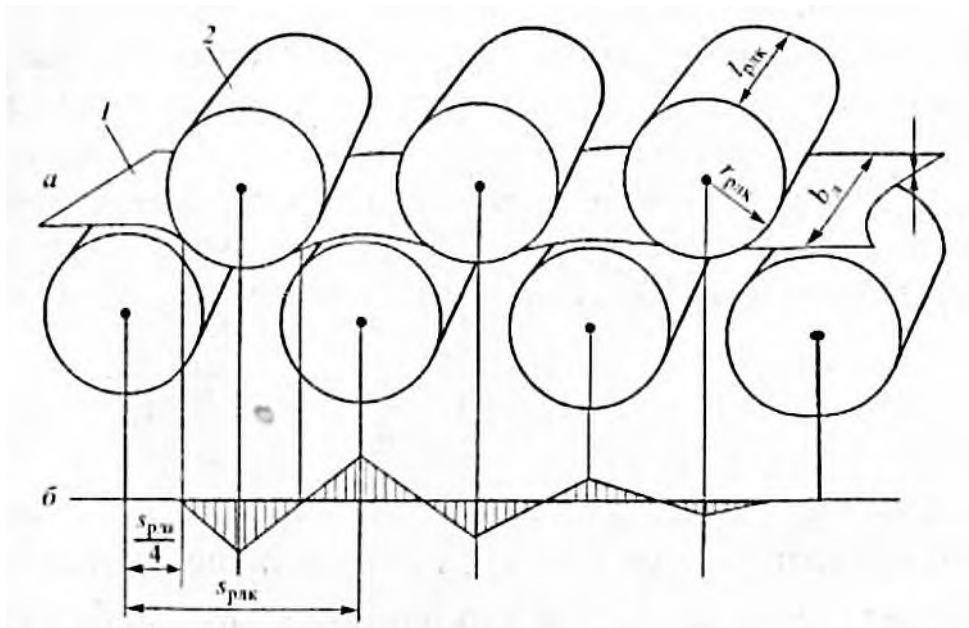
В зависимости от сортамента проката и характера дефектов применяют правку: *изгибом, растяжением, кручением*, комбинацией перечисленных способов.

Правильные машины подразделяют в соответствии с обрабатываемыми на них видами проката на три основные группы: *листоправильные, сортоправильные, трубоправильные* [3-9, 13-18].

Наибольшее распространение получили *многороликовые листо- и сортоправильные машины*. Полосу для правки пропускают между двумя рядами роликов, установленных в шахматном порядке. Нижний ряд роликов обычно неподвижный. Ролики же верхнего ряда могут перемещаться по высоте с помощью регулировки. Приводным обычно является один ряд роликов. При движении полоса изгибается роликами и выпрямляется. Точность правки зависит от числа роликов.

Основными параметрами *листоправильной* многороликовой машины являются радиус ролика $r_{рлк}$, шаг роликов $s_{рлк}$, количество роликов $n_{рлк}$, длина бочки ролика $l_{рлк}$, ширина b_k и толщина h_l выправляемого листа (рисунок 35, а).

Диаметр и шаг роликов определяют качество правки и давление на ролики правильной машины. Слишком большие шаг и диаметр роликов не обеспечивают требуемой точности правки, а при уменьшении их увеличивается давление на ролики и усложняется конструкция машины. Шаг роликов принимают равным $s_{рлк} = 2,2 r_{рлк}$.



а - схема правки листа (1 - лист; 2 - ролик); б - эпюра изгибающих моментов листа

Рисунок 35 – Правильная машина [3]

Качество правки зависит от степени износа поверхности рабочих роликов. При холодной правке износ роликов зависит от контактных напряжений и определяется по формуле Герца:

$$\sigma_k = 0,419 \sqrt{\frac{P_{рлк} E}{b_l r_{рлк}}} \leq 2\sigma_T,$$

где $P_{рлк}$ – сила, действующая на ролик;
 σ_T – предел текучести материала листа.

Рабочие ролики изготавливают из стали 9Х, характеризуемой большой прочностью, высокой твердостью и повышенным сопротивлением износу. Поверхность роликов подвергают закалке токами высокой частоты до твердости HRC 55...65.

Возможны упругий, пластический и упругопластический варианты изгиба листа роликами.

При упругом изгибе листа его поверхностные слои растягиваются-сжимаются, и только в нейтральном слое деформация и напряжение равны нулю. При упругой деформации напряжения возрастают от нейтрального слоя к поверхностным слоям по закону Гука, причем на поверхности полосы напряжения могут достичь предела текучести. После снятия нагрузки лист примет свою первоначальную форму. Момент упругого изгиба листа:

$$M_{из} = \sigma_T b_L h_L^2 / 6.$$

При пластическом изгибе напряжения в металле по всему сечению равны пределу его текучести σ_T , а после изгиба металла получает остаточную деформацию. Момент пластического изгиба листа:

$$M_{из} = \sigma_T b_L h_L^2 / 4.$$

При упругопластическом изгибе поверхностные слои листа деформируются пластически, а внутренние - упруго. Момент упругопластического изгиба листа всегда больше момента упругого, но меньше момента пластического изгиба.

Выправляемый лист движется между роликами, расположенными в шахматном порядке и подвергается именно упругопластическому знакопеременному изгибу, который постепенно уменьшается при движении от второго к предпоследнему ролику (рисунок 35, б). Изгибающие моменты вдоль листа изменяются так, что примерно на расстоянии $0,25s_{рлк}$ от оси ролика они равны нулю (эпюра меняет знак).

Суммарная сила, действующая на все верхние и нижние ролики листопрокатной машины, складывается из действующих на отдельные ролики сил:

$$P_{рлк\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_{рлк}} P_{рлк i} = \frac{8}{s_{рлк}} (M_{из 2} + M_{из 3} + \dots + M_{из n-1}),$$

где $M_{из 2}, M_{из 3}, \dots, M_{из n-1}$ - моменты упругопластического изгиба листа i -м роликом.

Если рабочие ролики опираются на опорные, вся сила $P_{рлк\Sigma}$ передается от рабочих роликов опорным.

Мощность электродвигателя для привода правильной машины:

$$N_{эд} = \frac{\left(\frac{\sigma_T^2}{2E} v_L b_L h_L K_{дф} + P \mu_{пш} \frac{d_{пш}}{2} \omega_{рлк} + P \mu_{л рлк} \omega_{рлк} \right)}{\eta},$$

где v_L - скорость движения листа;

$K_{дф}$ - суммарный коэффициент пластической деформации;

$\mu_{пш}$ - коэффициент трения ролика в подшипниковой опоре;

$d_{пш}$ - диаметр трения в подшипнике;

$\omega_{рлк}$ - угловая скорость вращения ролика;

$\mu_{л\text{ рлк}}$ – коэффициент трения качения листа о ролик правильной машины (для шариковых подшипников $\mu_{пш} = 0,003$; роликовых - $\mu_{пш} = 0,005$; игольчатых подшипников скольжения $\mu_{пш} = 0,08...0,1$; для стального листа $\mu_{л\text{ рлк}} = 0,8...1$, листа из цветных металлов $\mu_{л\text{ рлк}} = 0,09...1,2$).

В отечественной практике установлен ряд предпочтительных линейных размеров шага роликов, мм: 28, 32, 40, 50, 60, 80, 100, 130, 160, 200, 250, 280, 300, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 600, 670, 750, 800, 850.

Длиной бочки рабочих роликов определяется максимальная ширина выправляемых листов. На практике длина роликов составляет 200...5000 мм, максимальная ширина листа – 0,8...0,95 длины ролика (меньшие значения относятся к меньшей длине ролика).

Еще одним важным конструктивным параметром правильной машины является число рабочих роликов. Между числом роликов и их диаметром имеется определенная связь (таблица 4).

Таблица 4 – Соотношение диаметров и чисел рабочих роликов в листоправильных машинах [4]

| Диаметр рабочего ролика, мм | Число роликов |
|-----------------------------|----------------------------|
| 300...800 | 7, 9 |
| 160...300 | 7, 9, 11, 13 |
| 60...150 | 11, 13, 15, 17 |
| 25...50 | 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 |

Диаметр роликов зависит от толщины листа и предела текучести материала.

Роликовые правильные машины условно подразделяют на тонколистовые (толщина листа до 4...6 мм) и толстолистовые (толщина листа более 6 мм). Скорость прокатки на тонколистовых машинах составляет 0,5...6 м/с, на толстолистовых – 0,1...2 м/с.

Конструкция типовой листоправильной машины приведена на рисунке 36. Машина состоит из рабочей клетки 1 и привода, который, как правило, содержит электродвигатель 2, редуктор, шестеренную клетку 3 и универсальные шпиндели 4. Основой рабочей клетки машины является станина, в которой смонтированы ролики и механизмы их настройки.

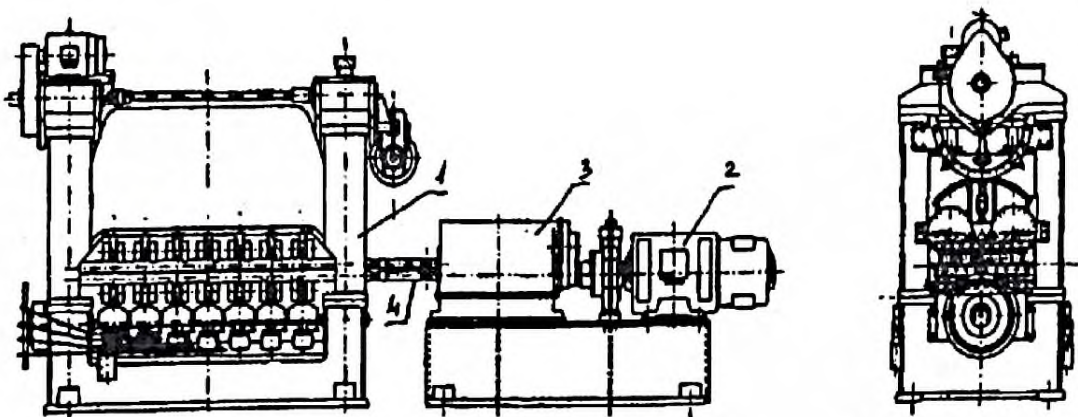


Рисунок 36 – Листоправильная роликовая машина [4]

Настройка листоправильной машины заключается в установке положения рабочих роликов одного ряда относительно другого в зависимости от толщины листа, его механических свойств и характера исправляемого дефекта. Применяют два вида настройки роликов: вдоль (рисунок 37) и поперек (рисунок 38) оси правки.

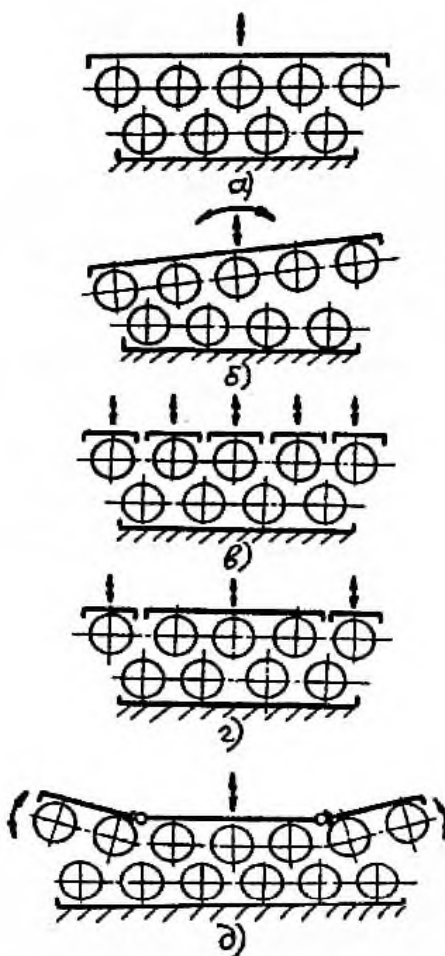


Рисунок 37 – Настройка роликов листоправильной машины вдоль оси правки [4]

Машины с групповой параллельной настройкой вдоль оси (рисунок 37, а) применяют для горячей правки листов при отсутствии повышенных требований

по прямолинейности. Групповую настройку наклоном (рисунок 37, б) используют, преимущественно, при правке тонких листов в холодном состоянии. Для тех же целей применяют *комбинированную настройку с наклоном крайних секций роликов* (рисунок 37, д), которая по сравнению с предыдущей, позволяет обеспечивать более высокую деформацию, что расширяет технологические возможности машины.

При *комбинированной параллельной настройке* (рисунок 37, г) облегчаются условия подачи листов в машину и имеется возможность регулировать прогиб листа, что способствует стабильности результатов правки по сравнению с групповой настройкой. Такую настройку применяют преимущественно для холодной и горячей правки толстых листов.

Индивидуальная радиальная настройка роликов (рисунок 37, в) дает возможность регулировать изгиб листа под каждым роликом. Ее используют на машинах с достаточно большим шагом. Индивидуальная настройка обеспечивает повышенную точность при правке толстых листов в холодном состоянии.

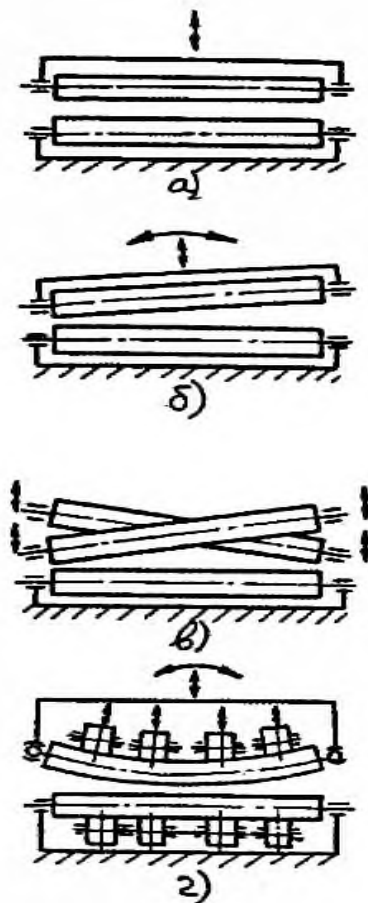


Рисунок 38 – Поперечная настройка роликов листопрямительной машины [4]

Параллельная поперечная настройка роликов верхнего и нижнего ряда (рисунок 38, а) рассчитана на исправление продольной кривизны (волнистости) листа. Для исправления других дефектов, характерных для листов и полос, в частности, коробоватости, необходимо, чтобы деформации изгиба неравномер-

но распределялись по ширине. Настройка роликов в поперечном направлении вводится с этой целью.

Групповой поворот роликов одного ряда относительно оси правки (рисунок 38, б) или *индивидуальный поворот каждого из роликов* (рисунок 38, в) создает неодинаковые деформации по краям полосы.

Более широкие возможности для варьирования распределением деформаций по ширине полосы дает *изгиб рабочих роликов* (рисунок 38, г). В комбинации с поперечным поворотом такая настройка позволяет исправлять различные виды коробоватости. Изгиб рабочих роликов осуществляют посредством нескольких секций опорных роликов, оснащенных соответствующими настроечными механизмами. При диаметре роликов менее 75 мм эти механизмы снабжены ручным приводом, при диаметре 75...90 мм – электроприводом. В современных машинах характер и величину изгиба рабочего ролика контролируют специальными табло-индикаторами или по изображению на дисплее.

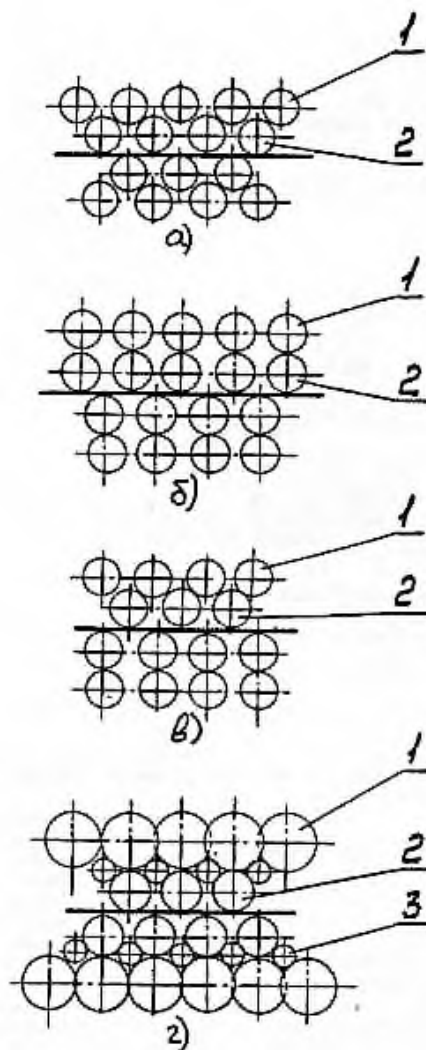
В толстолистовых правильных машинах, имеющих рабочие ролики диаметром более 90 мм, рабочие ролики не подвергают изгибу, так как при толщине листа более 6 мм коробоватость практически отсутствует.

В машинах для правки листов большой ширины с целью обеспечения прочности рабочего ролика и его подшипниковых опор рабочую клетку оснащают опорными роликами, схемы установки которых приведены на рисунке 39. Вдоль осей рабочих роликов, как правило, устанавливают несколько рядов опорных роликов. *Шахматное расположение опорных роликов* относительно рабочих (рисунок 39, а) наиболее распространено, так как обеспечивает восприятие как вертикальных, так и горизонтальных нагрузок, действующих на рабочие ролики. Машины с шахматным расположением опорных роликов применяют обычно для холодной правки листов, не имеющих окалины.

Попарное расположение опорных и рабочих роликов (рисунок 39, б) применяют, преимущественно, в машинах горячей правки, так как обеспечивается свободное удаление окалины.

Смешанное расположение опорных и рабочих роликов (рисунок 39, в) используют в машинах для холодной правки листов с окалиной.

Наличие промежуточных роликов (рисунок 39, г) исключает на поверхности рабочих роликов следы контакта с опорными роликами, которые отпечатываются на обрабатываемом листе. Такие машины применяют для листов из цветных металлов, к качеству поверхности которых предъявляют повышенные требования.



1 - опорный; 2 - рабочий; 3 - промежуточный

Рисунок 39 – Схемы установки опорных роликов листопрямительных машин.
Ролики машин [4]

Растяжные машины применяют наряду с роликовыми для правки листов и полос. При растяжении листа с *исходной коробоватостью* пластические деформации возникают, в первую очередь, на более коротких волокнах, и общая деформация коротких волокон больше по сравнению с деформацией длинных. В результате коробоватость, вызванная различной длиной волокон по ширине листа, уменьшается. Исправление *волнистости* объясняется тем, что в искривленных волокнах листа возникают упругопластические деформации как растяжения, так и изгиба. Последние направлены в сторону, противоположную исходной кривизне. Поэтому после снятия нагрузки исходная кривизна уменьшается.

Различают растяжные машины дискретной и непрерывной правки.

При *дискретной правке* исправляемый лист по концам зажимается в зажимах. Один из зажимов, перемещаемый гидроцилиндром, растягивает лист на заданную величину, обеспечивая необходимые для правки пластические деформации. Дискретную правку применяют как для листов, так и для полос. В

последнем случае правку осуществляют в результате *последовательных перехватов*. В этом случае конструкция зажимов обеспечивает пропуск полосы и исключает повреждение поверхности металла.

Растяжные машины дискретного действия применяют для правки листов с широким диапазоном размеров поперечного сечения и механических свойств материала. Однако используют их преимущественно для правки широких высокопрочных листов. Ограниченное применение таких машин связано с низкой производительностью по сравнению с роликowymi правильными машинами.

Непрерывную правку полос растяжением осуществляют на специальных машинах (рисунок 40).

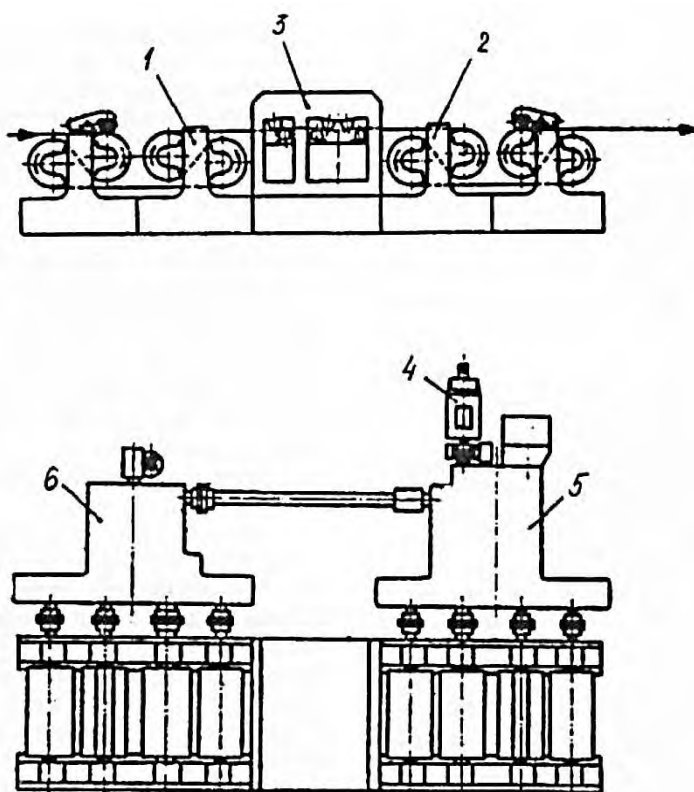


Рисунок 40 – Правильно-растяжная машина непрерывной правки [4]

Машина состоит из входного 1 и выходного 2 натяжных устройств. Необходимое для правки удлинение обеспечивается разностью скоростей, задаваемых полосе входным и выходным натяжными устройствами, приводимыми от двигателя 4 через редукторы 5 и 6. Для *интенсификации процесса деформирования* машина оснащена роликowym изгибающим устройством 3, позволяющим осуществлять комбинированный способ правки растяжением с одновременным изгибом полосы.

Основная масса сортового проката подвергается правке в холодном состоянии на *роликowych сортоправильных машинах*. Правку в этих машинах осуществляют *многократным знакопеременным упругопластическим изгибом* между роликami, на поверхности которых нарезаны калибры, соответствующие профилю обрабатываемого проката.

Различают машины для правки крупного, среднего и мелкого проката.

Крупносортные машины применяют для правки балок №№ 20...60, швеллеров №№ 20...45, углового профиля 100 х (100...200) х 200 мм, круглой стали диаметром 100...200 мм, квадратной стали со стороной 90...200 мм, тяжелых рельсов и другого проката аналогичных размеров.

Среднесортные машины применяют для правки балок №№ 6...22, швеллеров №№ 6...22, угловой стали 50 х (50...100) х 100 мм, тавров 50 х (50...140) х 140 мм, круглой стали диаметром 50...100 мм, квадратной стали со стороной 40...90 мм.

Для *мелкосортных машин* характерными профилями являются угловая сталь 20 х (20...40) х 40 мм, круглая сталь диаметром 8...30 мм, квадратная сталь со стороной 8...25 мм.

Различают сортоправильные машины открытого и закрытого типов. У *закрытого типа машин* каждый ролик устанавливается на две подшипниковые опоры, расположенные по его сторонам. У *машин открытого типа* ролики расположены консольно, что удобно для смены калиброванных бандажей. Этим объясняется преимущественное применение машин открытого типа.

Машины открытого типа подразделяют на одноплоскостные и двухплоскостные.

Одноплоскостные машины, как правило, выпускают вертикального исполнения, когда правильные ролики расположены в вертикальной плоскости. Одноплоскостная машина состоит из рабочей клетки и привода. Правильные ролики рабочей клетки устанавливаются в шахматном порядке. Ролики одного ряда устанавливаются неподвижно, ролики другого ряда имеют механизмы радиальной настройки, которая может быть индивидуальной для каждого ролика или групповой в зависимости от размера машины. Для расширения выправляемого проката в некоторых конструкциях предусматривается регулирование шага роликов.

Двухплоскостные машины (рисунок 41) предназначены для исправления продольной кривизны в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, поэтому ролики рабочих клеток 2 и 3 расположены соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На входной стороне машины имеются подающие ролики 1. Ролики вертикальной и горизонтальной групп приводятся во вращение от общего привода 4.

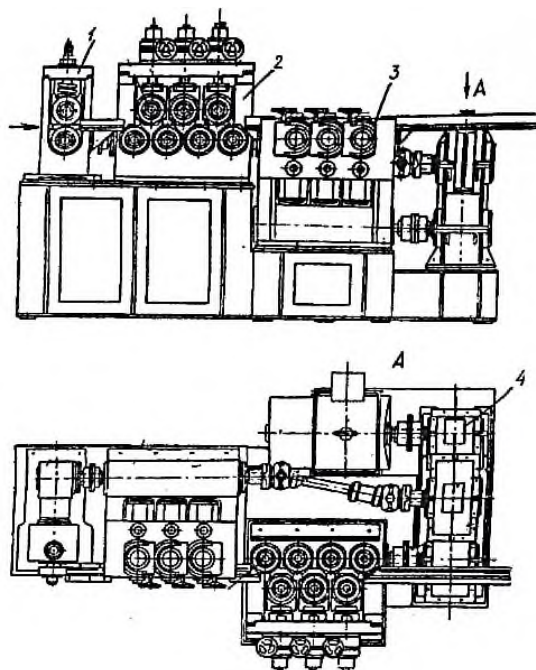


Рисунок 41 – Двухплоскостная роликовая сортоправильная машина [4]

Основные конструктивные параметры роликовой сортоправильной машины – диаметр правильного ролика, шаг роликов и их число.

Технологические возможности машины определяются также *нагрузочной характеристикой*, которая представляет собой *наибольший момент изгиба профиля* в плоскости правки и определяется по формуле:

$$M = \sigma_s W k_{\Pi},$$

где σ_s – предел текучести материала;

W – момент сопротивления упругому изгибу;

k_{Π} – коэффициент профиля.

Правку на правильных прессах применяют, в основном, для профилей крупных размеров и проката из труднодеформируемых материалов круглого и квадратного профилей с размером сечения 180 мм и более, двутавровых балок высотой более 600 мм, железнодорожных рельсов.

Прессы используют как самостоятельное правильное оборудование и как оборудование для выборочной доправки металла после роликоправильных машин. Изготавливают прессы трех типов: вертикальные, горизонтальные и наклонные.

Правильно-растяжные машины используют в ряде случаев для правки сортового проката (рисунок 42). Такая машина состоит из передней 1 и задней 2 зажимных головок, смонтированных на общей станине 3. Положение задней головки на станине может меняться в зависимости от длины проката. Передняя головка перемещается под действием гидроцилиндра 4, растягивая выправляемый профиль. В некоторых конструкциях передняя головка может принуди-

тельно поворачиваться и осуществлять одновременно с растяжением правку раскручиванием.

Правка растяжением происходит при напряжениях в металле, равных пределу текучести σ_S , при которых растягивающая сила

$$P_p = \sigma_S F_{\Pi},$$

где F_{Π} – площадь поперечного сечения профиля.

Допустимое относительное удлинение ε_p при растяжении определяют из условия, исключающего разрыв выправляемого проката при одноосном напряженном состоянии:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_S}{E} + \beta \delta_p,$$

где β – коэффициент, учитывающий масштабный фактор, дефекты материала и концентрацию напряжений в зажимах (принимают $\beta=0,1 \dots 0,3$);

δ_p – относительное остаточное удлинение при разрыве.

При правке скрученности основными технологическими параметрами являются крутящий момент, развиваемый раскруточной головкой, и угол ее поворота.

Крутящий момент M_k для изделий прямоугольного сечения равен:

$$M_k = \tau_S \left(\frac{a^3}{6} + \frac{a^2(b-a)}{4} \right),$$

где τ_S – предел текучести при сдвиге, равный $0,57\sigma_S$;

a и b – соответственно малая и большая стороны сечения.

Для определения крутящего момента профилей сложной формы рекомендуется заменить сечение на описывающий его прямоугольник.

Минимальный угол поворота:

$$\varphi_{\min} = \tau_S W_p l_k / (I_p G),$$

где W_p – полярный момент сопротивления поперечного сечения проката;

l_k – расстояние между крутильными головками;

I_p – полярный момент инерции поперечного сечения проката;

G – модуль упругости при сдвиге.

В зависимости от исходной скрученности профиля требуемый для исправления угол закрутки φ_T может быть значительно больше минимального

$$\varphi_T = \varphi_{и} + \varphi_{у},$$

где $\varphi_{и}$ и $\varphi_{у}$ – углы соответственно исходной скрученности профиля и упругой отдачи.

Для прямоугольного сечения

$$\varphi_{у} = M_k l_k / I_p G = \frac{\tau_s \left(\frac{a^3}{6} + \frac{a^2(b-a)}{4} \right) l_k}{I_p G}.$$

По сравнению с роликовыми правильными машинами растяжные машины имеют малую производительность и при их применении возможно повреждение поверхности концевых участков проката зажимами.

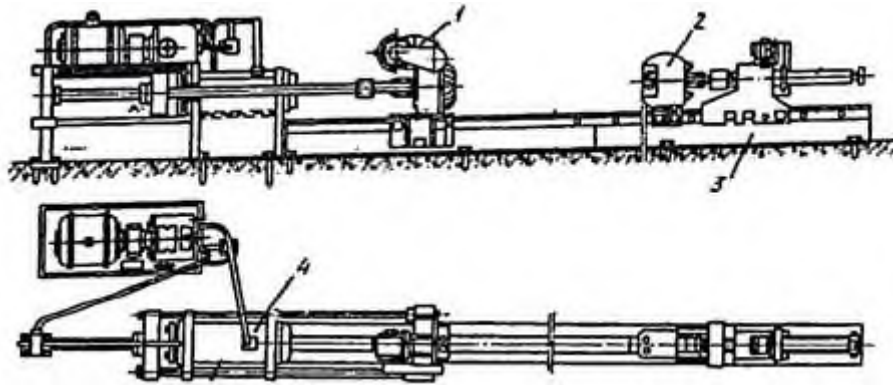


Рисунок 42 – Правильно-растяжная машина для сортового проката [4]

Правильные прессы применяют для дополнительной правки концов сортовых профилей, недостаточно качественно выправленных на роликовых машинах, а также правки сортовых профилей (балок, швеллеров) в плоскости наибольшей жесткости их поперечного сечения.

Правильные прессы бывают двух типов: вертикальные и горизонтальные; в обоих случаях их выполняют шатунно-эксцентриковыми.

На вертикальных прессах выправляемый профиль устанавливают на двух роликовых опорах, расположенных на нижнем неподвижном столе прессы. Правку осуществляют приложением усилия P посередине между опорами путем перемещения ползуна с призмой, соединенного с эксцентриковым валом. На горизонтальных прессах схема правки аналогична описанной выше, но ползун с кривошипно-шатунным приводом расположен горизонтально.

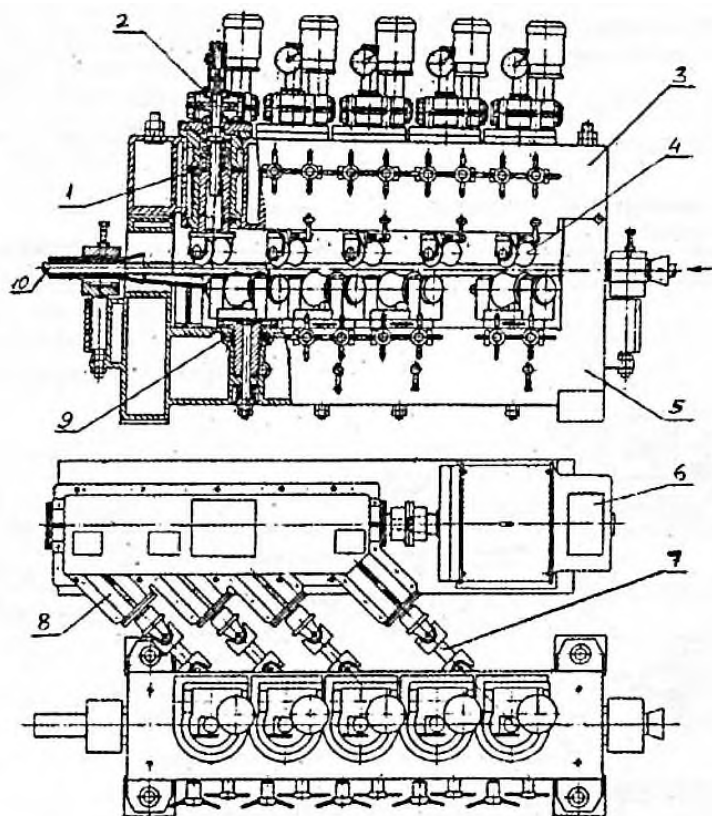
Правку круглых труб, а также прутков осуществляют, в большинстве случаев, на *косовалковых машинах*. Обрабатываемое изделие (труба) на этих машинах вращается и одновременно движется поступательно. При этом каждое из сечений трубы подвергается действию сначала возрастающего, а затем убывающего изгибающего *упругопластического момента*. Винтовое движение и

изгиб трубы осуществляется пропуском ее через одну или несколько *обойм правильных валков глобоидальной формы*, расположенных под некоторым углом к оси правки.

Валковой обоймой принято считать группы валков, центры которых лежат в одной плоскости, перпендикулярной к оси правки. Валковая обойма может состоять из одного-трех валков. В зависимости от числа валковых обойм косовалковые трубоправильные машины подразделяют на два основных типа с одной валковой обоймой и с несколькими валковыми обоймами.

Машины с несколькими валковыми обоймами – наиболее обширная группа косовалковых машин, различаемых по числу валков в обоймах, которые могут быть одно-трехвалковыми (с закрытыми калибрами). В свою очередь, эти машины выполняют с валками одинаковой и разной длин.

Машины с одинаковыми обоймами (рисунок 43) являются наиболее производительными среди известных конструкций косовалковых правильных машин. Первые по ходу движения трубы верхний и нижний валки установлены одни над другими, остальные – в шахматном порядке.



- 1, 2 - механизмы соответственно угловой и радиальной настройки верхнего валка; 3 - крышка станины; 4 - верхний валок; 5 - основание станины;
 6 - электродвигатель привода валков; 7 - универсальный шпиндель;
 8 - шестеренная клеть; 9 - механизм угловой настройки нижнего валка;
 10 - выпрямляемая труба

Рисунок 43 – Трубоправильная машина с одновалковыми обоймами [4]

Нижние валки (приводные) снабжены механизмами угловой настройки, валки верхнего ряда (укороченные) - механизмами угловой и радиальной настройки. Отличительная особенность машин с одновалковыми обоймами - большой угол разворота валков относительно трубы ($\alpha=40\dots50^\circ$), что позволяет снизить скорость вращения трубы в процессе правки при высоких скоростях ее продольного перемещения. Необходимое для обеспечения требуемой точности правки число перегибов трубы достигается увеличенным числом валковых обойм.

Машины с одновалковыми обоймами отличаются простотой конструкции и надежностью. Их целесообразно использовать для правки труб массового сортамента с коэффициентом тонкостенности (отношением наружного диаметра трубы к толщине стенки) $\chi=30$, когда необходимо обеспечить точность $1,0\dots1,5$ мм/м при высокой производительности до 6 м/с.

Машины с двухвалковыми обоймами - большая группа машин, у которых как минимум две обоймы состоят из двух валков. Угол настройки валков у машин этой группы составляет $25\dots35^\circ$. Машины с двухвалковыми обоймами подразделяют на две подгруппы в зависимости от длины валков в обойме: с одинаковыми по длине валками (ОВ) и с разными по длине валками (РВ).

Машины с разными по длине валками имеют несколько исполнений, отличающихся числом валковых обойм и схемой их расположения (рисунок 44).

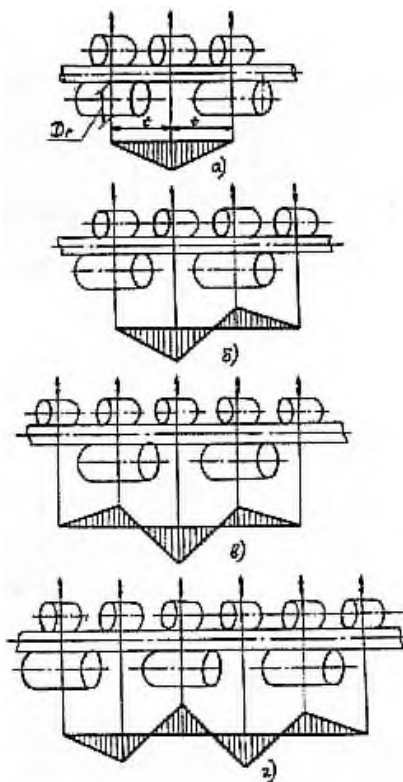


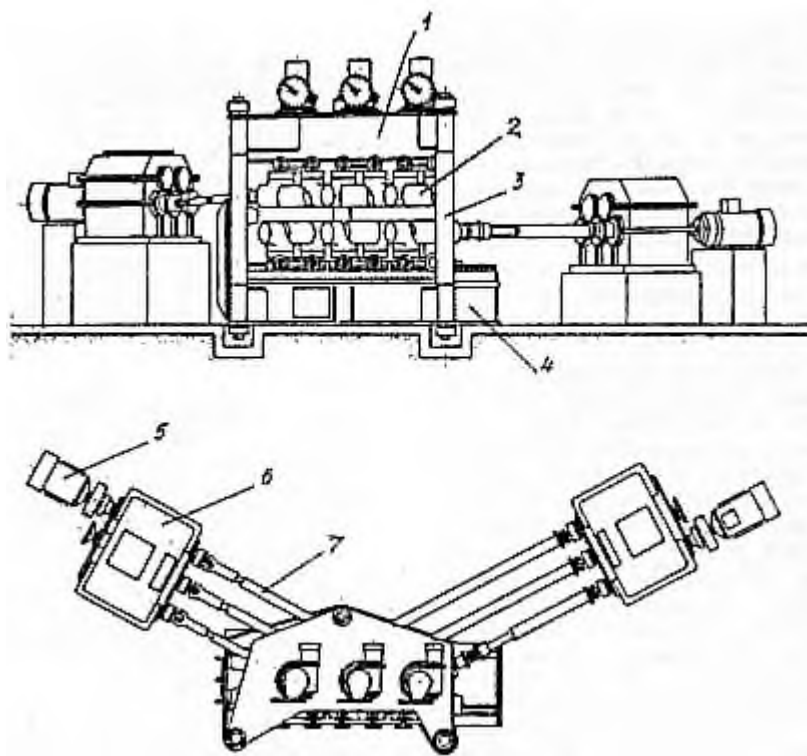
Рисунок 44 – Схемы изгиба трубы в машинах с двухвалковыми обоймами и валками разной длины (тип РВ) [4]

В машинах этого типа чередуются двух- и одновалковые обоймы. Как правило, удлиненные валки - приводные, а короткие - неприводные. Механизмами радиальной настройки снабжаются только короткие валки. Удлиненные валки такой настройки не имеют, поэтому изгиб трубы может осуществляться лишь по треугольной (рисунок 44, а), двухтреугольной (рисунок 44, б), много-треугольной (рисунок 44, в и г) схемам.

С увеличением числа валковых обойм возрастает число перегибов, которым может быть подвергнута труба, что положительно сказывается на точности правки.

Машины типа РВ с двухвалковыми обоймами применяют для правки труб массового сортамента. Скорость правки до 2,5 м/с.

Машина типа ОВ с тремя двухвалковыми обоймами приведена на рисунке 45.



- 1 - верхняя траверса станины; 2 - правильный валок; 3 - колонна;
- 4 - основание станины; 5 - электродвигатель привода верхних валков;
- 6 - шестеренная клеть; 7 - универсальный шпиндель

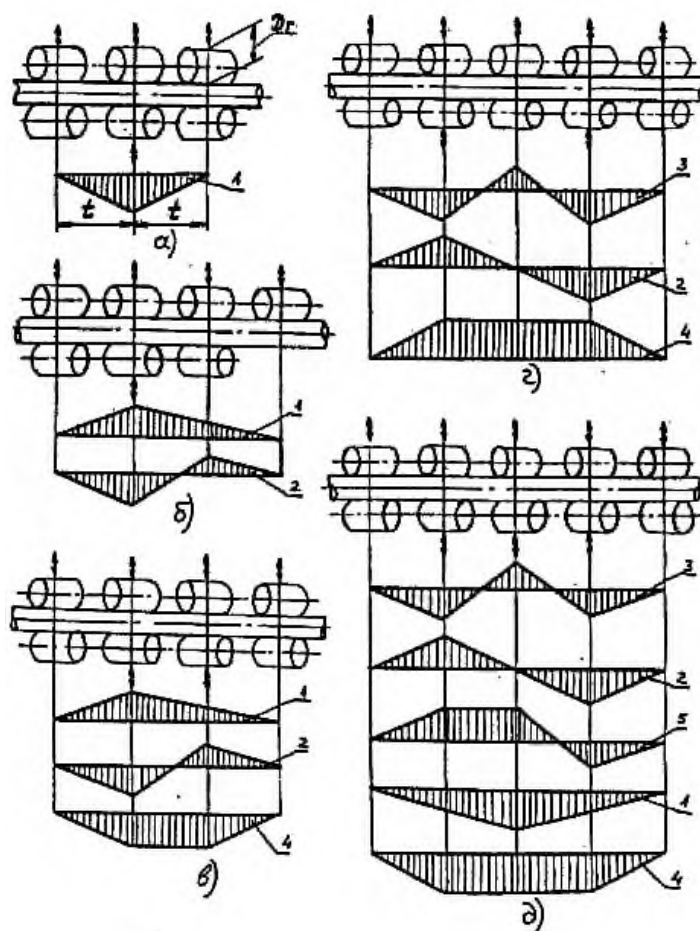
Рисунок 45 – Трубоправильная с двухвалковыми обоймами и валками одинаковой длины (тип ОВ) [4]

Станина рабочей клетки машины состоит из верхней и нижней траверс, жестко скрепленных между собой колоннами. Три верхние и средний нижний валки установлены в траверсах на ползунах, оснащенных механизмами радиальной и угловой настройки. Крайние нижние валки настраиваются только по углу разворота. Все валки приводные.

В машинах типа ОВ с несколькими валковыми обоймами обеспечивается

возможность распределения контактных давлений между трубой и инструментом на большой длине, и, следовательно, их уменьшения, что позволяет обрабатывать тонкостенные трубы и сохранять хорошее качество поверхности. В результате благоприятного распределения контактных давлений можно также проводить поперечную деформацию трубы сжатием ее в валковых обоймах для исправления овальности.

С увеличением числа обойм и при наличии механизмов радиальной настройки нижних валков расширяются технологические возможности по выбору схемы изгиба трубы между валками для обеспечения требуемой точности по прямолинейности (рисунок 46).



1 - односторонняя; 2 - двусторонняя; 3 - многосторонняя;
4 - трапецевидная; 5 - комбинированная.

Число валковых обойм в машине: а - 3; б, в - 4; г, д - 5

Рисунок 46 – Схемы изгиба трубы в машине с двухвалковыми обоймами и валками одинаковой длины (тип ОВ) [4]

В связи с этим все большее распространение получают косовалковые машины с четырьмя и пятью двухвалковыми обоймами. Машины типа ОВ можно рекомендовать для правки с нормальной и повышенной точностью продольной кривизны и овальности тонкостенных труб. При этом также не исключена обработка на этих машинах толстостенных труб и прутков. Максимальная ско-

рость правки 1,5...2,5 м/с.

Поскольку на работе механизмов радиальной настройки нижних валков может отрицательно сказываться наличие окалины на трубах, машины с одинаковыми валками предпочтительнее применять для обработки труб с чистой поверхностью.

Рабочая клеть *машины с закрытыми калибрами* (рисунок 47) имеет две трехвалковые обоймы 1 и 2, между которыми расположен средний валок 3, создающий перегиб трубы в процессе правки.

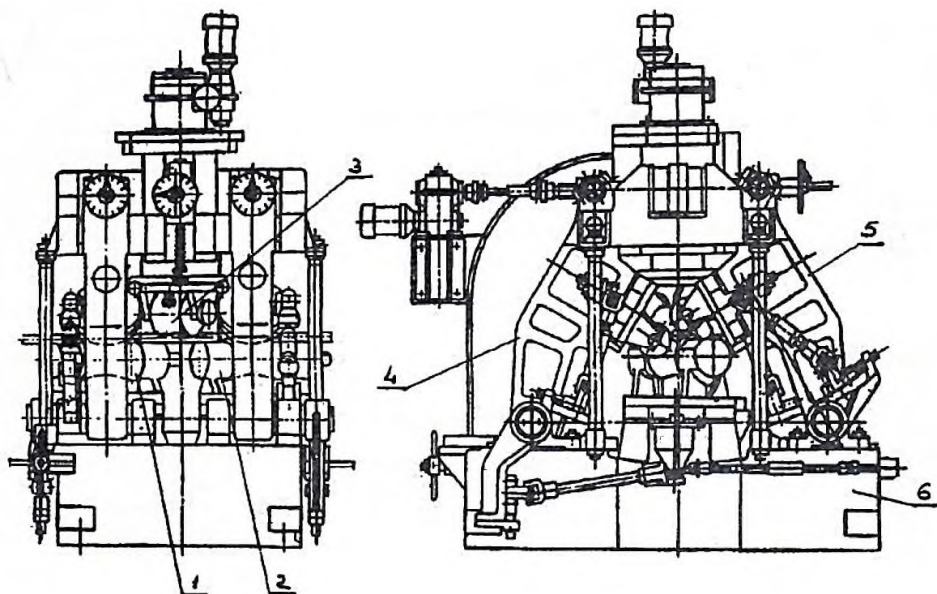


Рисунок 47 – Рабочая клеть трубоправильной машины с закрытыми калибрами [4]

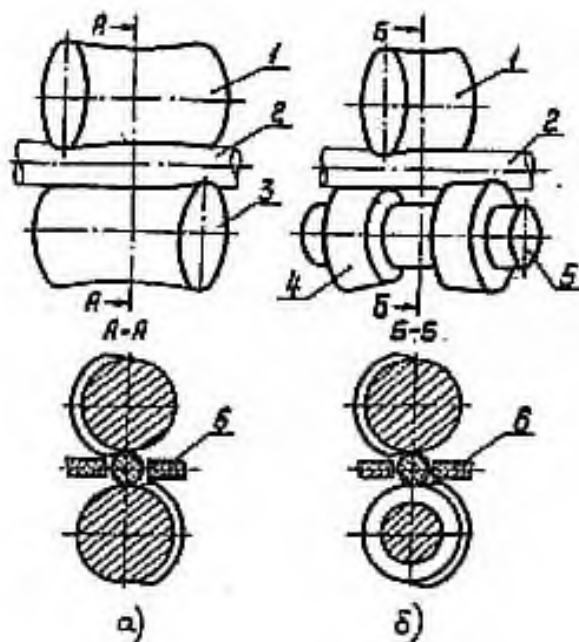
Обойма образована двумя боковыми укороченными валками, закрепленными на поворотных рычагах 4 и 5, и нижним удлиненным приводным валком, установленным на станине 6. Угловая настройка осуществляется автоматически при регулировании раствора боковых валков обоймы.

Закрытый калибр обеспечивает устойчивость трубы при больших деформациях и скоростях до 3,5 м/с. Машины с закрытыми калибрами применяют для толстостенных труб, в том числе – для труб с повышенной прочностью, имеющих черную поверхность. Точность правки 1,5 мм/м.

Трубоправильные машины с одной валковой обоймой выделяют как особый тип машины не только по конструктивному признаку (наличие лишь одной валковой обоймы), но также и по их технологическим возможностям, заключающимся в обеспечении высокой точности правки по всей длине проката, включая концевые участки. Другая особенность машин - возможность при правке уменьшить шероховатость поверхности и снизить овальность сечения, а также осуществить калибровку проката по диаметру. Это объясняется повышенными контактными давлениями и наличием проскальзывания между

прокатом и валками. Под влиянием перечисленных факторов микронеровности на поверхности выправляемого изделия сглаживаются. Учитывая эти особенности машин, иногда их называют *правильно-полировальными*.

Машины с одной двухвалковой обоймой могут иметь валки одинаковой (рисунок 48, а) или разной (рисунок 48, б) длины. Машины с валками одинаковой длины широко распространены и имеют различные конструктивные исполнения. Их применяют для правки прутков и толстостенных труб диаметром 5...350 мм. Максимальная скорость правки 0,5...0,8 м/с.



- 1, 3 - валки соответственно нажимной и опорный; 2 - выпрямляемая труба;
 4 - правильная шайба опорного валка; 5 - вал опорного валка;
 6 - направляющие линейки

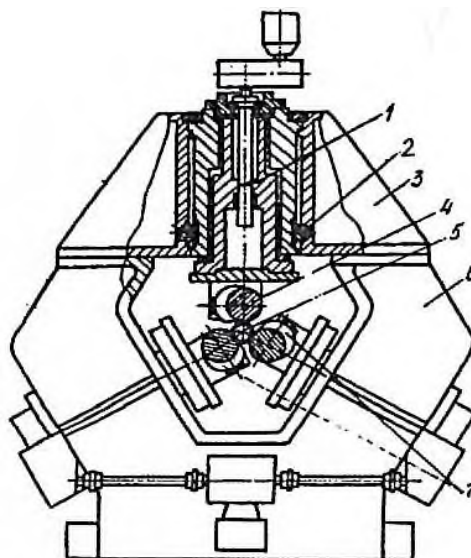
Рисунок 48 – Схемы трубоправильных машин с одной двухвалковой обоймой [4]

Двухвалковые машины с валками разной длины, получившие ограниченное распространение, не имеют механизмов угловой настройки - угол установки валков постоянный и составляет 3...5°. Прогиб изделий в этих машинах регулируют сближением или разведением правильных шайб опорного валка вдоль вала и радиальным перемещением нажимного валка.

Для направления и удержания обрабатываемого проката в одной двухвалковой обойме машина снабжена регулируемыми направляющими линейками, которые, находясь в контакте с прокатом, интенсивно изнашиваются и требуют частой замены. Износ линеек зависит от механической характеристики проката и размеров выправляемого профиля.

Двухвалковые машины не рассчитаны на правку тонкостенных труб. Такие трубы могут быть выправлены с высокой точностью по всей длине в *машине с одной трехвалковой обоймой* (рисунок 49), где правка осуществляется тре-

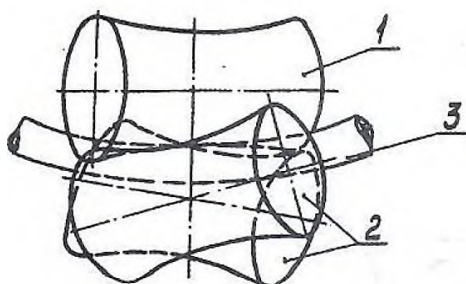
мя валками, образующими закрытый калибр.



- 1, 2 - механизмы настройки валка соответственно радиальный и угловой;
3 - крышка станины; 4 - нажимной валок; 5 - выправляемая труба;
6 - станина; 7 - опорные валки

Рисунок 49 – Трубоправильная машина с одной трехвалковой обоймой [4]

Благодаря соответствующей профилировке, а также угловой и радиальной настройке, валками можно осуществлять изгиб трубы и одновременно удерживать ее в межвалковом пространстве в процессе прокатки без направляющих линеек (рисунок 50). Наряду с исправлением продольной кривизны трехвалковая обойма позволяет устранить овальность труб с небольшой толщиной стенки.



- 1 - нажимной валок; 2 - опорные валки; 3 - выправляемая труба

Рисунок 50 – Правка трубы в одной трехвалковой обойме [4]

Машины с одной валковой обоймой не рассчитаны на высокие скорости правки, так как угол установки валков невелик, а частота вращения трубы возрастает с уменьшением этого угла. В то же время частота вращения не должна превышать некоторого критического значения, при котором может наступить потеря устойчивости трубы:

$$n_T = (v / \pi d_T \operatorname{tg} \alpha) < [n_T],$$

где n_T – частота вращения трубы;
 v – поступательная скорость трубы;
 d_T – наружный диаметр трубы;
 α – угол разворота валков;
 $[n_T]$ – критическая частота вращения трубы, равная 5000...8000 мин⁻¹ (зависит от параметров выправляемого изделия).

Трубоправильные машины с двухвалковыми обоймами выпускают в горизонтальном или вертикальном исполнении.

Горизонтальные машины, у которых оси поворота валков при угловой настройке расположены горизонтально, имеют небольшой габаритный размер по высоте, что позволяет размещать их в низких помещениях. Валки и механизмы их настройки в малой степени подвержены попаданию окалины. Однако при изменении диаметра выправляемой на горизонтальной машине трубы меняется вертикальное и горизонтальное положение ее нижней образующей при прохождении через валки, что требует перенастройки входных и выходных проводок и рольгангов. Кроме того, затруднен обзор трубы при правке и доступ к валкам при их замене.

Вертикальные машины, у которых оси поворота валков расположены вертикально, не имеют указанных недостатков, поэтому находят более широкое применение.

Основным конструктивным параметром косовалковой правильной машины с несколькими валковыми обоймами является расстояние между осями соседних валковых обойм, называемое шагом валков.

Шаг валков зависит от размеров и механической характеристики выправляемой трубы. С другой стороны, шаг определяется конструктивными размерами валка – диаметром горловины, длиной его рабочей части и углом установки.

Размеры валка связаны с нагрузками и необходимостью создать достаточную длину контакта с трубой. При этом диаметр горловины выбирают по условиям прочности, исходя из нагрузочной характеристики u :

$$u = \sigma_s W k_1,$$

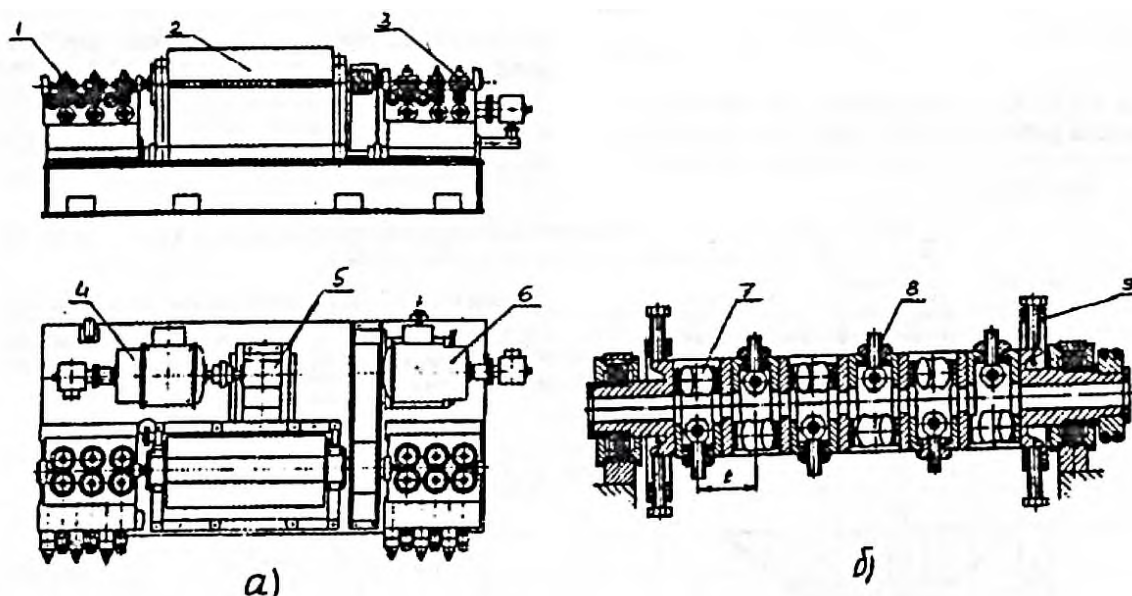
где σ_s – предел текучести материала;
 W – момент сопротивления сечения трубы при упругом изгибе;
 k_1 – коэффициент момента сопротивления, определяемый отношением пластического момента сопротивления сечения к моменту сопротивления сечения при упругом изгибе.

Трубоправильные машины роторного типа применяют для правки труб, круглых прутков и проволоки без вращения проката. Общим в конструкции

этих машин является наличие подающе-тянущего механизма и вращающегося правильного ротора, осуществляющего упругопластический изгиб изделия при его поступательном перемещении.

Основные узлы роторной машины могут иметь различное конструктивное исполнение. В качестве *правильного инструмента ротора* применяют сплошные изогнутые трубки, фильеры неподвижные либо установленные на подшипниках, валки глобoidной формы.

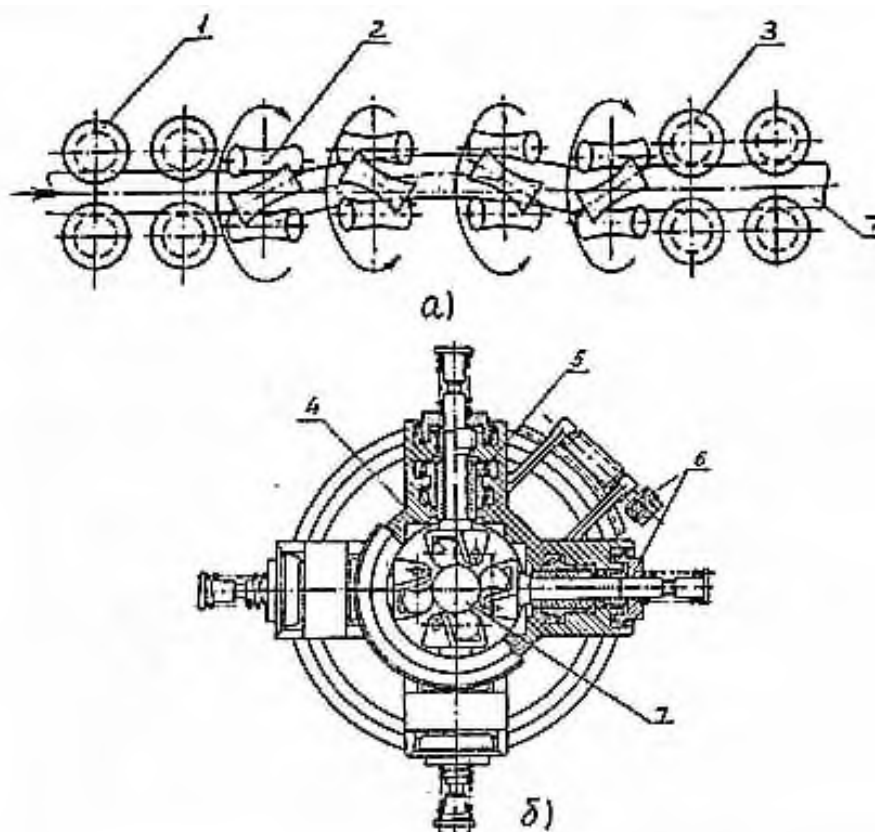
Роторная трубоправильная машина с косовалковым ротором приведена на рисунке 51.



1, 3 - ролики соответственно подающие и тянущие; 2 - правильный ротор; 4 - электродвигатель привода подающе-тянущего механизма; 5 - раздаточный редуктор; 6 - электропривод ротора; 7 - правильный валок; 8 - механизм настройки валка; 9 - контргруз динамического уравновешивания

Рисунок 51 – Роторная трубоправильная машина (а) и косовалковый ротор (б) [4]

Для правки особо тонкостенных труб созданы машины с многовалковыми обоймами (рисунок 52).



а – схема машины; б – четырехвалковая обойма:

1, 3 - ролики соответственно подающие и тянущие; 2 - валковая обойма;
4 - правильный валок; 5, 6 - механизмы настройки валков соответственно
радиальный и угловой; 7 - выправляемая труба

Рисунок 52 – Схема роторной трубоправильной машины
с многовалковыми обоймами и конструкция обоймы [4]

Вращение расположенных рядом обойм происходит в противоположных направлениях. Это позволяет уменьшить момент, скручивающий трубу в процессе правки, что важно при обработке особо тонкостенных труб. В закрытом калибре валковой обоймы осуществляется поперечная деформация трубы, обеспечивающая, наряду с правкой продольной кривизны, исправление овальности. Тянущие ролики оснащены обгонными муфтами, поэтому поступательная скорость трубы в процессе правки задается валками, обкатывающимися вокруг нее. Это исключает проскальзывание между валками и трубой, что способствует уменьшению шероховатости поверхности трубы.

Для правки профильных труб применяют машины с качающимися обоймами (рисунок 53), в которых предусмотрено пять сменных последовательно установленных обойм с неприводными роликами, по обе стороны от которых расположены по две пары приводных тянущих роликов 1. Крайние роликовые обоймы 2 установлены неподвижно, одну или три средние обоймы 3 выполняют качающимися.

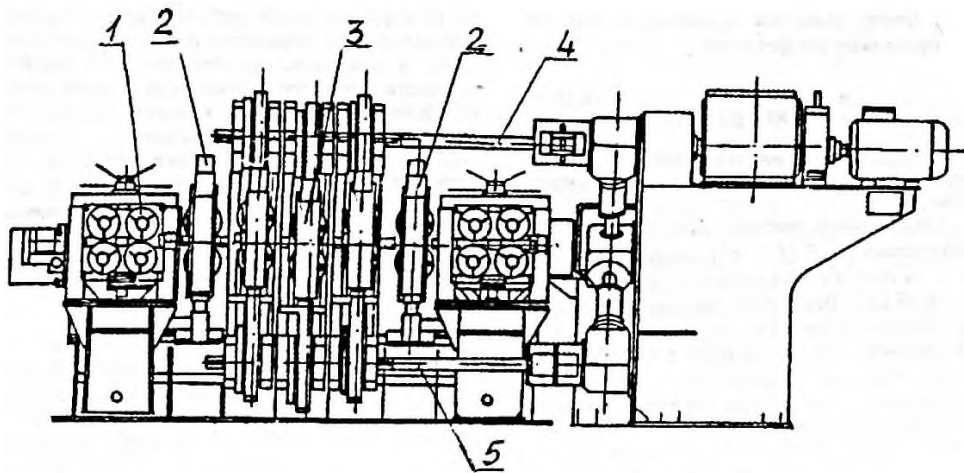


Рисунок 53 – Правильная машина с качающимися обоймами [4]

Качение обойм осуществляется двумя эксцентриковыми валами 4 и 5. При одновременном вращении эксцентриков роликовая обойма движется по замкнутой траектории в плоскости, перпендикулярной к оси правки. Траектория движения роликовой обоймы может быть круговой либо эллиптической. При вращении одного эксцентрикового вала обойма совершает колебательное движение. Так как выправляемый прокат одновременно находится в неподвижных и поперечно перемещающихся обоймах, а также движется поступательно тянущими роликами, он подвергается знакопеременному упругопластическому изгибу. Частоту колебаний обоймы и скорость подачи проката можно изменять в широких пределах.

4 Оборудование для клеймения и маркировки проката

Для клеймения, блюмов, слябов, заготовок крупного поперечного сечения, крупносортового проката и толстых листов применяют *клеймовочные машины* и механизмы – *клеймители* [3, 5]. С помощью сменных клейм, содержащих буквенные литеры и цифровые знаки, на прокате наносится (выдавливается): надпись, содержащая название (условное обозначение) завода-изготовителя, марку стали, номер плавки и другие сведения, необходимые для хранения металла на складе и отправки его для дальнейшей обработки или к потребителю. Ставить клеймо на блюмы и слябы обычно можно либо на их боковой поверхности, либо на торцах. При хранении блюмов и слябов на складах в штабелях целесообразно клеймение в торец (торцовые клейма легко обнаружить визуально), для чего применяют *маятниковые клеймители* различной конструкции, которые можно разделить на три вида:

- 1) клеймители с периодической заменой клейм;
- 2) клеймители с механизированной заменой клейм оператором;
- 3) полностью автоматизированные клеймители.

На рисунке 54 показан клеймитель блюмов разработки ВНИИМЕТМАШ.

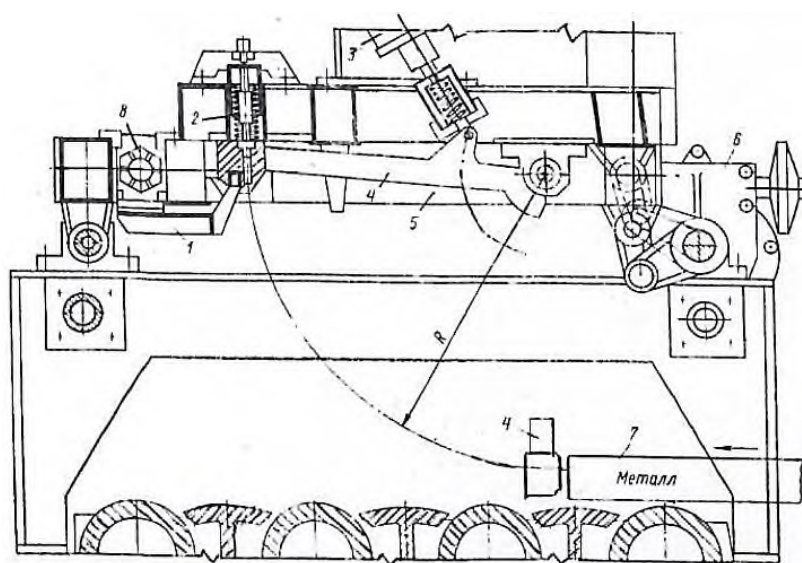


Рисунок 54 – Клеймитель блюмов с механизированной заменой клеймовочных знаков [5]

Движение молотка 4 маятникового типа осуществляется с помощью пневматического цилиндра 3. Замена свободного падения на принудительное движение от пневмопривода позволяет регулировать скорость движения молотка (скорость соударения клейма с металлом), получать четкие знаки клейм на металле 7. В исходном положении пневматический цилиндр 3 прижимает головку молотка к буферу 2, что необходимо для механизации замены клейм. В комплект

машины входят четыре обоймы, которые закладывают между зубьями гребенки 1; они могут передвигаться по горизонтали по направляющим против гнезда в головке молотка. Подача любой из четырех обойм в гнездо молотка осуществляется штоком бокового пневматического цилиндра 8. В гнезде молотка обойма фиксируется с помощью стопора. Управление воздушными кранами цилиндров автоматическое, осуществляемое при помощи электромагнитов, получающих сигнал от фотореле, установленного на пути движения блюма по рольгангу. Положение молотка по высоте сечения блюма можно регулировать посредством механизма подъема 6, установленного на раме 5.

Так как отходы (обрезки) от головной и хвостовой частей блюмов и слябов составляют 10...15% массы прокатанного металла, то разделение (сортировка) их по маркам стали перед отправкой на переплавку – сложная и трудоемкая операция.

Операция клеймения на блюминге автоматизирована. Для этого перед ножницами над рольгангом устанавливают *дисковый клеймитель* (рисунок 55), непрерывно наносящий клейма на поверхность движущихся по рольгангу блюмов (слябов) на некоторой определенной длине их головной и хвостовой частей (до разрезки на ножницах на мерные длины).

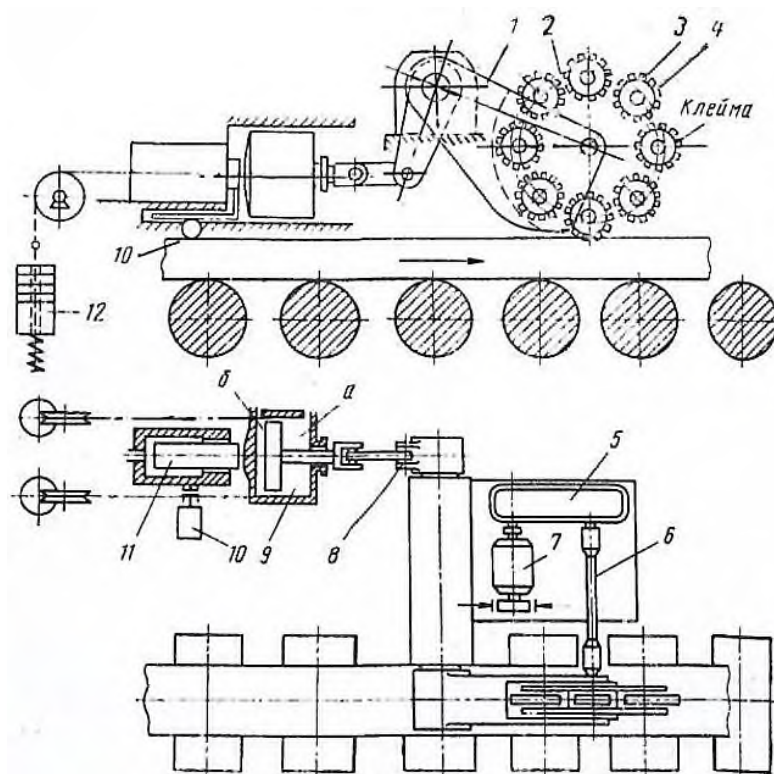


Рисунок 55 – Дисковый клеймитель обрезков блюмов [5]

На рычаге 1 установлен узкий барабан 2 с восемью дисками 3, расположенными по окружности и снабженными клеймовочными знаками 4. Барабан посред-

ством шагового (углового) привода вращается от электродвигателя 7 через редуктор 5 и карданный вал 6. В процессе клеймения одним из восьми дисков, свободно вращающихся на своей оси, барабан не подвижен. На всех восьми дисках имеются различные клеймовочные диски, соответствующие условному обозначению марок стали. Для установки одного из восьми дисков в нижнее рабочее положение необходимо при помощи карданного вала повернуть барабан на требуемый угол. Поворот рычага 1 в положение для клеймения осуществляется рычагом 8 с комбинированным пневмогидравлическим приводом 9 и 11. Усилие на рычаге регулируется контргрузами 12. С целью сокращения времени на установку барабана в исходное положение (в зависимости от толщины бруса) применен гидроцилиндр 11. Точное регулирование поворота рычага 8 осуществляется короткоходовым пневмоцилиндром 9. Количество жидкости, подаваемой в полость гидроцилиндра, регулируется специальным устройством 10. В период клеймения сжатый воздух подается в полость б; при этом барабан с дисками приподнимается над металлом. Клеймитель управляется дистанционно (с пульта) или автоматически по заданной программе.

Для клеймения рельсов и крупносортового проката (балок, швеллеров, угловой стали и т.д.) применяют *клеймовочно-накатные машины с пневматическим прижимом клеймовочных дисков к движущему профилю*. Эти машины также называют *штемпельными машинами* или просто *клеймовщиками*.

На рисунке 56 показан клеймитель, установленный за дисковыми пилами на рельсобалочном стане конструкции УЗТМ.

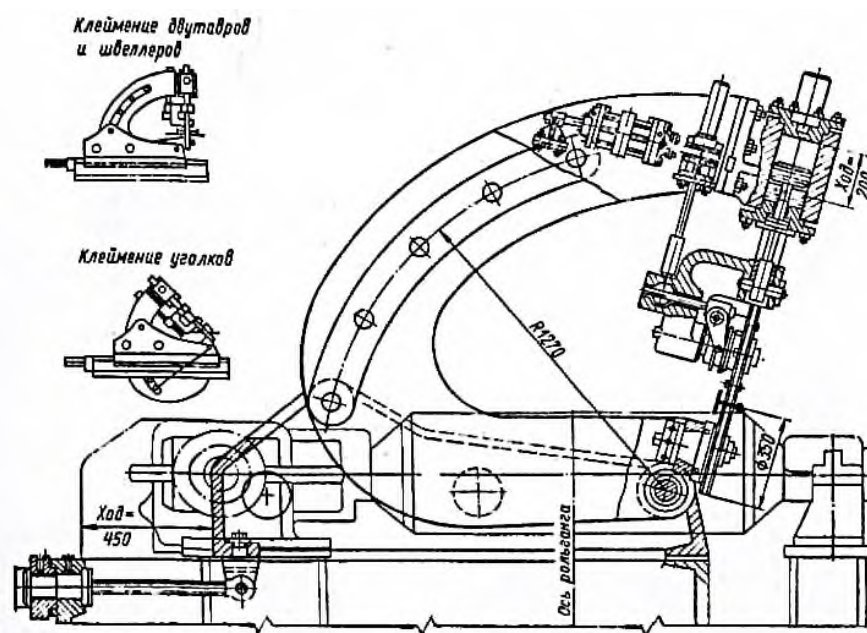


Рисунок 56 – Клеймитель рельсов и балок [5]

Клеймитель предназначен для клеймения рельсов, крупных балок высотой до 450 мм, а также угловой стали до № 20 и других профилей, движущихся со ско-

ростью до 3 м/с, температура которых составляет 850...900°С. Клеймовочным и сменным является верхний диск. Подъем и опускание его осуществляются пневматическим цилиндром с диаметром штока 150 мм и ходом 200 мм при давлении воздуха 0,3...0,6 МПа. Давление диска на рельс составляет 5...10 кН.

На рельс, кроме обычного заводского клейма, содержащего литерные знаки завода-изготовителя и номер плавки, наносят порядковый номер его в слитке. Выдвижение клейма, соответствующего порядковому номеру рельса в слитке, осуществляется с помощью специального крепления, приводимого от пневматического цилиндра с диаметром штока 80 мм и ходом 50 мм.

Тонкий листовой прокат маркируют посредством нанесения соответствующих обозначений краской через трафарет на поверхность листов. Механизированные устройства для маркировки листов называют *маркировщиками*.

Также для нанесения информации на поверхности проката применяют *иглоударное оборудование*, содержащее высокопрочную иглу из твердых металлических сплавов с использованием керамики, которое делает в поверхности проката небольшие углубления. Углубления, сделанные иглой, образуют легко воспринимаемые глазом и сканерами изображения.

Для долговечной и качественной маркировки (клеймения) горячего металла применяют специальные *бирки*, сделанные из металлической пластины или ленты, покрытой стойкой керамической краской, на которую лазером наносится необходимое обозначение.

5 Машины для разматывания-наматывания рулонов и бунтов

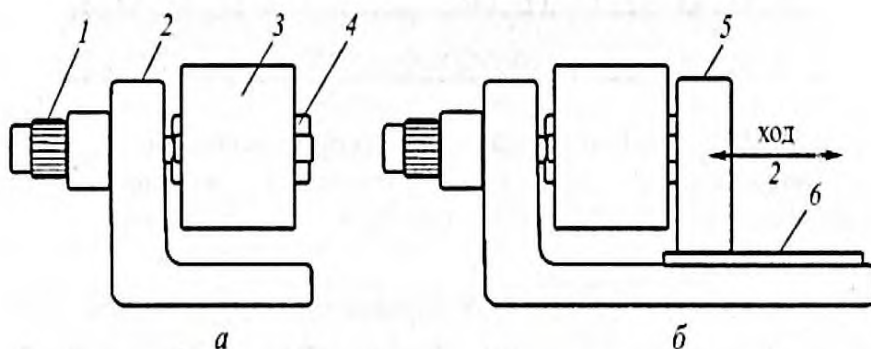
Одним из направлений снижения отходов и повышения выхода годного, сокращения издержек на производство является производство проката в рулонах и бунтах. В рулонах получают лист, полосу, штрипс, в бунтах – стальную катанку и катанку из цветных металлов и сплавов, мелкий сорт.

Тонколистовой металлопрокат удобно транспортировать в рулонах, для упрощения разматывания которых существуют разматыватели с электромагнитными или скребковыми отгибателями металлического конца.

Разматыватели (с отгибателями) предназначены для приема и центрирования рулонов, отгибания переднего конца рулона с целью направления полосы в прокатный стан (или агрегат резки, отжига, покрытия и т.д.) и создания натяжения полосы при разматывании рулона [3-7].

Для сматывания в рулоны листового проката (полосы, ленты, штрипса) используют барабанные и ролико-барабанные моталки [18, 19]. Кроме того, моталки бывают консольными и опорными.

Барабанные моталки применяют для сматывания в рулоны холодного металлического листа (рисунок 57).



а - консольная; б – двухопорная:

1 - мотор-редуктор; 2 - корпус; 3 - бунт; 4 - барабан;

5 - отводная опора; 6 - направляющие

Рисунок 57 – Барабанные моталки [3]

Консольное исполнение моталки предпочтительнее, так как оно не препятствует удалению рулона с барабана. Однако для повышения жесткости барабана при намотке ленты с большим натяжением необходима дополнительная отводная опора. Она подводится к свободному концу вала барабана моталки перед наматыванием ленты и отводится в сторону, когда необходимо снять рулон. Иногда для снятия тяжелого рулона с барабана моталки применяют тележку-съёмник с подъемно-поворотным столом, которая также перемещается по направляющим. Для повышения несущей способности применяют барабаны, приводной вал которых имеет пирамидную или конусную форму (без внутрен-

него отверстия) с тремя-четырьмя сегментами.

Привод моталки при непрерывно изменяющемся диаметре рулона должен обеспечивать постоянной линейную скорость смотки-размотки ленты с учетом поддержания неизменным натяжения. Это означает, что угловая скорость барабана моталки должна непрерывно изменяться, что достигается благодаря применению индивидуального электропривода с автоматическим регулированием.

При сматывании листа в рулон его материал (металл) по всей толщине испытывает напряжения, близкие к пределу текучести, то есть получает пластический изгиб, момент которого

$$M_{из} = \sigma_T \cdot b_{л} \cdot h_{л}^2 / 4.$$

Мощность электродвигателя привода барабана моталки можно определить по формуле

$$N_{эл} = (M_{из} + \sigma_{л} \cdot b_{л} \cdot h_{л} \cdot r_{б}) \cdot v_{л} / (\eta \cdot r_{б}),$$

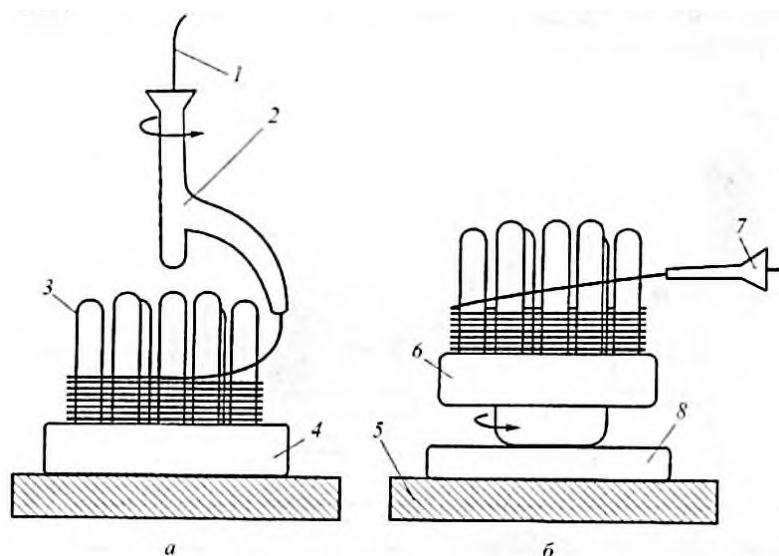
где $\sigma_{л}$ – напряжение натяжения листа, обычно $\sigma_{л} = (0,1 \dots 0,3)\sigma_T$;

$r_{б}$ – радиус барабана моталки (рулона);

η – КПД привода моталки.

Для сматывания в бунты мелкосортного проката, катанки и проволоки применяют моталки со стационарным или вращающимся бунтом.

Моталка со стационарным бунтом и осевой подачей металла применяется только для металлопроката круглого поперечного сечения из-за возникающего при наматывании скручивания (рисунок 58, а).



а - стационарным; б - вращающимся: 1 - катанка; 2, 7 - трубки; 3 - палец; 4, 8 - неподвижные плиты; 5 - фундамент; 6 - грибовидный шпиндель

Рисунок 58 - Мелкосортные моталки с бунтом [3]

Проволока (катанка) проходит по трубке, расположенной внутри вращающегося вала, который приводится в движение от электродвигателя через коническую зубчатую передачу, и укладывается витками вокруг вертикальных пальцев. По окончании сматывания проволоки пальцы опускаются с помощью рычажного механизма, а бунт сталкивается с плиты на транспортер. Преимуществом моталки этого типа является то, что бунт не вращается и сматывание проволоки может происходить при любой скорости ее подачи.

Моталка с вращающимся бунтом и тангенциальной подачей металла обеспечивает наматывание без скручивания металлопроката не только круглого, но и любого другого поперечного сечения (рисунок 58, б). Такие моталки часто располагаются под полом цеха и приводятся в движение от самостоятельных электродвигателей. Металл поступает по трубке и укладывается на вращающемся грибовидном шпинделе.

В связи с быстрым ростом скорости прокатки катанки, обусловленным установкой на станах проволочных блоков, вертикальную конструкцию моталки, заменили на горизонтально установленный виткообразователь, что позволило:

1) исключить радиусную проводку и связанные с ее применением потери на трение от центробежной силы (потери при переходе катанки из горизонтальной плоскости движения в вертикальную);

2) уменьшить вибрацию механизма сматывания.

Современный виткообразователь устанавливают под углом $10...15^\circ$ к горизонтальной плоскости для лучшего схода витков на ленту конвейера. Диаметр катанки – $5,5...13$ мм, скорость – до 120 м/с.

Виткообразователи формируют не бунт, а спираль из отдельных витков, укладываемую затем на движущийся конвейер и подвергаемую термической обработке по заданному режиму. Ось вращения виткообразователей обычно совпадает с линией прокатки либо наклонно к ней. Такое расположение позволяет значительно снизить сопротивление движению проката на подводящей трассе. Витки проката формируются в пространственно искривленной проводке за счет действия на катанку сил реакции внутренних стенок проводки. Сформированные витки, уложенные на конвейер, после соответствующей обработки, в специальной шахте собираются в бунт массой до $2,3$ т. Типовая конструкция виткообразователя приведена на рисунке 59.

Виткообразователь содержит одноступенчатый редуктор 3, обычно конический, с ускоряющей передачей, поэтому необходим электродвигатель мощностью до 150 кВт. В редукторе предусмотрен водоохлаждаемый полый вал, на одном из концов которого установлена трубка 1, формирующая витки катанки. Шнек 2 виткообразователя сбрасывает витки на движущуюся ленту конвейера.

Синхронизация работы виткообразователя с проволочным блоком осу-

ществляется по тахометрической схеме.

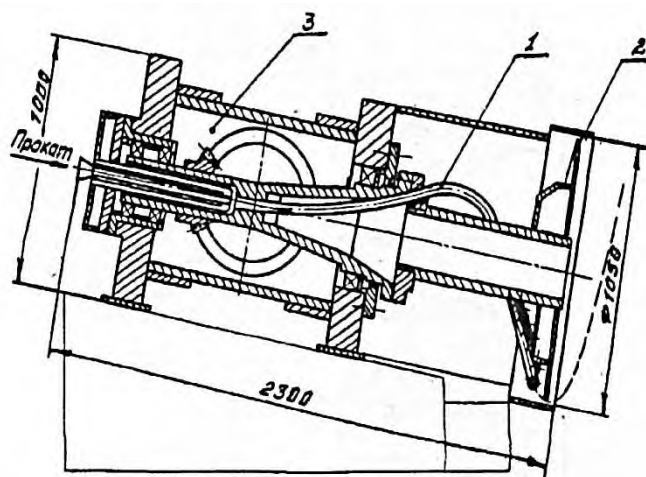


Рисунок 59 – Виткообразователь [4]

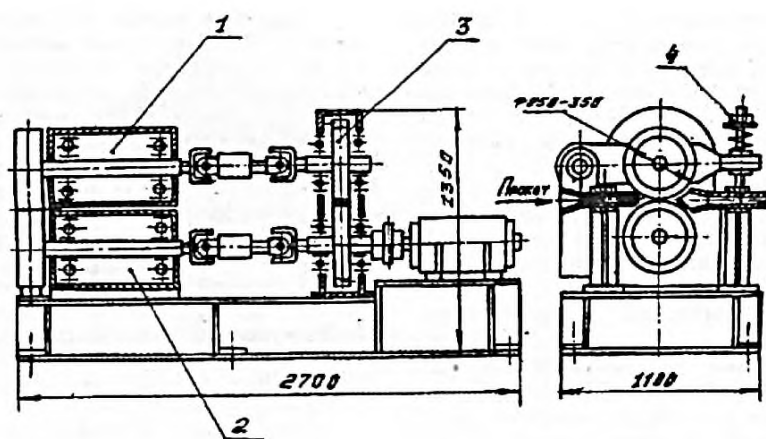
Расчет привода виткообразователя выполняют так же, как и для проволочной моталки с определением динамического и статического моментов.

Недостаток описанных машин – жесткие требования к согласованию скоростей прокатки и виткообразователя, так как внутренний диаметр виткоформирующей проводки лишь в 2...3 раза больше диаметра катанки и ограничивает отклонение величины диаметра формируемых витков от заданного размера. Кроме того, формирование витков постоянного диаметра не позволяет получать компактный бунт при сборке витков, что требует дополнительных операций по раскладке витков внутри габаритов бунта и опрессовке самого бунта. Еще одним недостатком является сравнительно невысокая износостойкость виткоформирующих проводок, которая определяется как высокими относительными скоростями движения проката, так и неконтролируемыми отклонениями траектории движения проката в процессе формирования витков и, соответственно, значительным повышением контактных нагрузок на отдельных участках виткоформирующей проводки. При производстве проката, например, диаметром 5,5 мм с высокими прочностными характеристиками и прокатываемого с высокими скоростями, проводки приходится менять каждые 2...4 часа работы. При каждой замене простой прокатного стана могут составлять от 30 до 60 минут и более, что ведет к значительным потерям производительности, даже несмотря на то, что быстрой замене виткоформирующего узла с изношенными проводками уделяется особое внимание. Учитывая, что производству термоупрочненного проката последние десятилетия уделяется повышенное внимание, ввиду его более низкой стоимости при достаточно высоких эксплуатационных характеристиках, проблема износостойкости проводок для намотки такого проката является особенно актуальной.

Однако при всех отмеченных недостатках, процесс формирования спи-

ральных витков с укладкой их на конвейер позволяет широко варьировать режимы термообработки катанки с прокатного нагрева непосредственно в линии стана и получать бунты практически любой необходимой массы, что и делает эти машины наиболее перспективными с точки зрения совершенствования, как их конструкции, так и тенденций развития технологии производства катанки.

Все сортовые и проволочные моталки, а также виткообразователи, то есть все машины для свободного сматывания горячего металла, работают только при принудительной подаче в них металла. Для этой цели в линии проводковой системы непосредственно перед моталками устанавливают подающие ролики (рисунок 60).



1, 2 - ролики соответственно подвижный и неподвижный;
3 - шестеренная клеть; 4 - амортизатор

Рисунок 60 – Подающие ролики типовой конструкции [4]

Ролики расположены консольно, один из них, в основном верхний, может перемещаться в вертикальной плоскости. Ролик подпружинен с целью смягчения ударной нагрузки, возникающей при заходе переднего конца проката. Имеются также конструкции подающих роликов с установкой пневматического цилиндра для поднятия верхнего ролика перед входом проката в ролики.

Конструкции подающих роликов многообразны, но во всех приводными являются оба ролика, которые приводятся либо через шестеренную клеть и редуктор, либо непосредственно от индивидуальных двигателей.

Применяют также конструкции подающих роликов, в которых возможен разворот роликов относительно калибра в вертикальной плоскости, что создает вращающий момент относительно оси проката для лучшего прохождения металла через трубку, формообразующие витки бунта.

Синхронизация вращения роликов с клетью стана осуществляется тахометрической связью.

Настройка подающих роликов по скорости подачи проката проводится с превышением скорости прокатки на 5...10%, то есть создается определенное натяжение проката. При этом для сохранения поперечного сечения горячего

металла в пределах размеров, допускаемых нормами, удельное натяжение горячего металла не должно превышать 20% предела текучести при данной температуре.

Комбинированные моталки состоят из двух моталок систем Эденборна и Гаррета, устанавливаемых друг над другом (рисунок 61). Сматывание круга диаметром 5,5...12 мм в неподвижный бунт проводят на верхнем механизме 1 сматывания, сматывание круга диаметром 14...24 мм или профиля некруглого сечения на нижнем механизме 2 при вращающемся бунте. Механизм выталкивания 3 и сталкивания 4 бунтов – общепринятой конструкции.

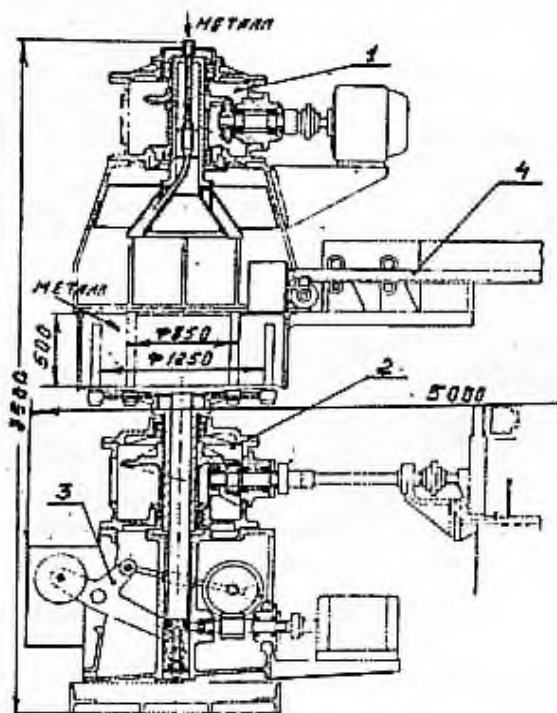
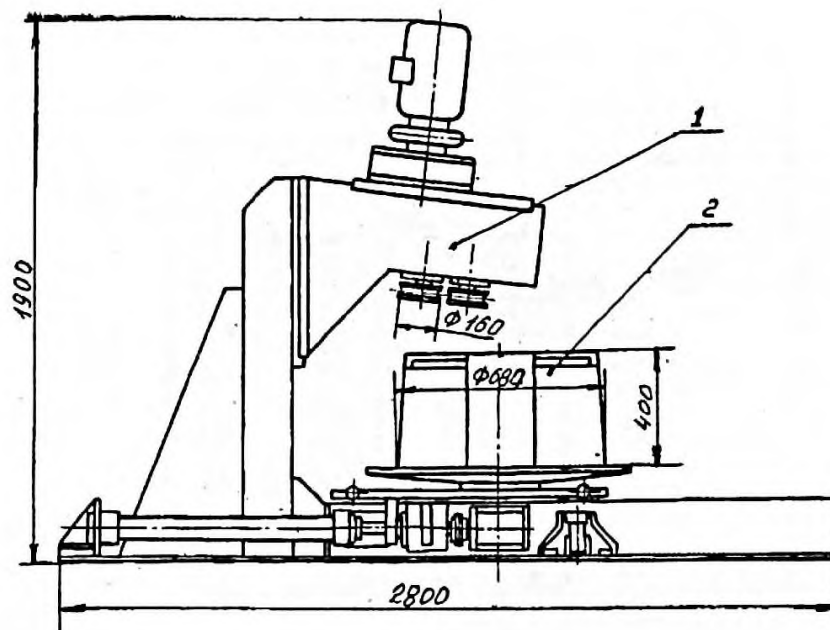


Рисунок 61 – Комбинированная моталка [4]

Моталки применяют, в основном, для сматывания проката из легированных сталей. Их устанавливают на мелкосортно-проволочных станах.

Моталки для сматывания прутков и труб в холодном состоянии (рисунок 62) отличаются от моталок для горячего сматывания сорта и катанки наличием в них узла гибочных роликов, которые формируют витки бунта. Для этого на моталке устанавливают гибочный механизм, состоящий из трех роликов. Для изменения параметра формируемого бунта, с целью его уплотнения средний ролик по определенной программе меняет свое положение относительно двух других роликов. Движение среднего ролика осуществляется от гидравлического цилиндра или электродвигателя. Перед гибочными роликами устанавливают подающие ролики.



1 - подающих и гибочных роликов; 2 - сматывания

Рисунок 62 – Типовая моталка для сматывания прутков и труб в холодном состоянии. Механизмы моталки [4]

Приводом гибочных и подающих роликов является либо двигатель постоянного тока и редуктор, либо высокомоментный низкооборотный гидромотор.

Характеристика моталок: диаметр сматывания прутков или труб 5...14 мм, диаметр образующихся витков 750...1000 мм. Масса бунтов до 80 кг. Сматывание проводится в вертикальной или горизонтальной плоскости.

Момент привода рассчитывают по формуле:

$$M = S\sigma_{S[t]},$$

где M – момент привода, Н·м;

S – пластический момент сопротивления сечения проката, м²;

$\sigma_{S[t]}$ – предел текучести металла при температуре сматывания, Па.

Полосовые моталки применяют для свертывания полос в горячем и холодном состояниях в рулон, формируемый с помощью специальных роликов и барабанов. Моталки этого типа получили широкое применение на штрипсовых, полосовых и листовых станах для свертывания полос из черных и цветных металлов.

По конструкции полосовые моталки подразделяют на *трехроlikовые (свертывающие машины)*, *многороlikовые* и *роlikо-барабанные*.

Трехроlikовые моталки применяют для горячего и холодного свертывания полос толщиной до 25 мм; многороlikовые и роlikо-барабанные – для свертывания горячих полос толщиной до 8 мм.

Основное преимущество роlikовых моталок, по сравнению с моталками

барабанного типа, состоит в том, что скорость вращения роликов, формирующих рулон, остается постоянной (соответствует скорости поступления полосы в моталку и не зависит от диаметра рулона). На непрерывных станах устанавливают, как правило, две полосовые роликовые моталки, в которых свертывание полос выполняется поочередно.

Трехроликовые моталки (свертывающие машины) (рисунок 63) состоят из одной или нескольких пар подающих роликов 1 (в зависимости от толщины полосы), используемых для ввода свертываемой полосы в моталку, трех гибочных роликов 2 и двух опорных роликов 3, на которых формируется рулон. Эти ролики – приводные.

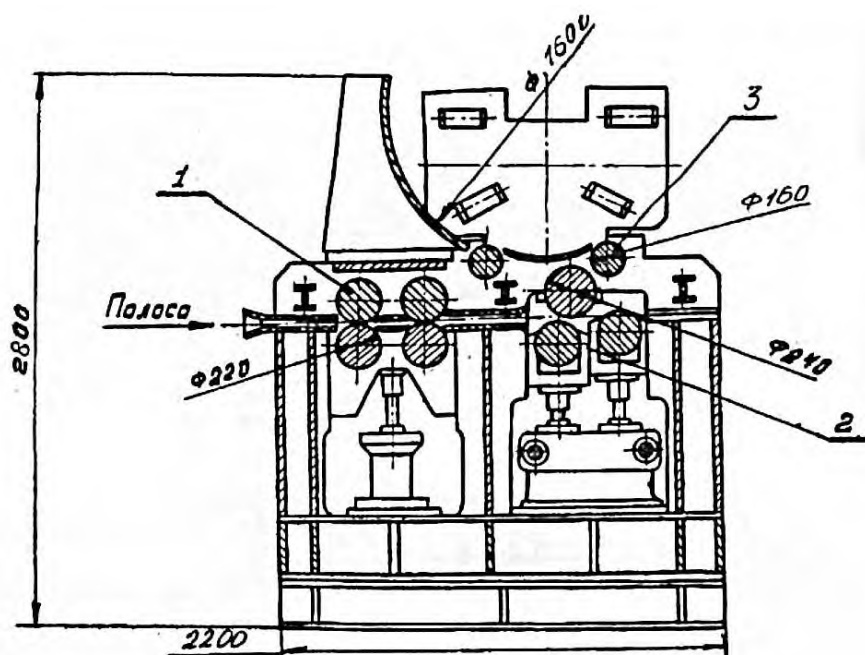


Рисунок 63 – Трехроликовая полосовая моталка [4]

Основные гибочные ролики располагают таким образом, чтобы движущаяся между ними полоса подвергалась классическому изгибу, при котором радиус кривизны примерно равен внутреннему радиусу рулона. Вследствие этого полоса при выходе идет вверх.

Для направления полосы при образовании первого витка служат боковые стационарные неприводные ролики, располагающиеся по кромке полосы на специальных стойках.

В современных трехроликовых моталках последний по ходу полосы гибочный ролик, по мере роста диаметра рулона, опускается вниз под действием электрического или гидравлического привода, обеспечивая постепенное увеличение радиуса гибки полосы.

Процесс сматывания полосы в рулон на трехроликовой моталке состоит из шести этапов.

Первый этап – захват переднего конца полосы подающими роликами и подача его в гибочные ролики вплоть до упора полосы в конечный гибочный

ролик.

Второй этап – начало гибки переднего конца полосы в пределах упруго-пластической деформации металла на определенный радиус с учетом увеличения этого радиуса за счет упругих внутренних сил полосы после выхода ее из гибочных роликов.

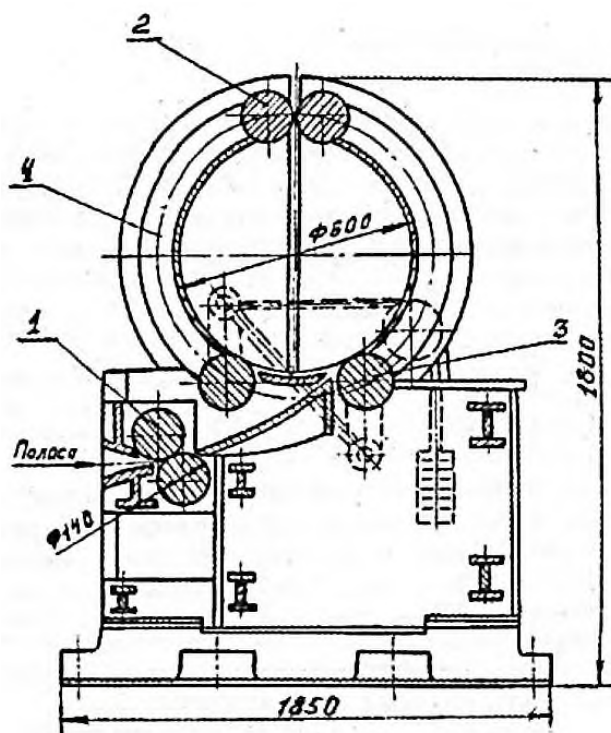
Третий этап – выход переднего сформированного на определенный радиус загиба конца полосы и увеличение этого радиуса внутренними упругими силами полосы до размера, равного внутреннему радиусу рулона.

Четвертый этап – упор переднего загнутого конца полосы в первый опорный ролик и начало разгибания полосы в пределах упругой деформации с подачей переднего конца полосы на второй опорный ролик.

Пятый этап – образование рулонов на опорных роликах с формированием внутреннего радиуса рулона до размера, полученного после третьего этапа.

Шестой этап – выход заднего конца полосы из гибочных роликов и формирование его на рулоне.

Многороликовые моталки (рисунок 64) применяют для свертывания в рулон массой до 4 т горячей полосы толщиной 2...8 мм, шириной 116...400 мм после ее прокатки со скоростью 7...21 м/с. Сворачиваемая полоса (так называемый штрипс) является заготовкой для трубосварочных станков.



1 - подающе-гибочные; 2 - формирующие; 3 - опорные;
4 - качающиеся створки

Рисунок 64 – Многороликовая полосовая моталка. Ролики [4]

Процесс свертывания в этой моталке достигается постоянным изгибом полосы последовательно расположенными по окружности рулона роликами. По

мере сворачивания полосы в рулон и его увеличения в диаметре ролики раздвигаются.

Моталку располагают непосредственно над выходным рольгангом. Она состоит из двух приводных подающих роликов и роликов, расположенных по окружности.

Нижние ролики, на которых формируется рулон, должны быть обязательно приводными, у остальных роликов привод отсутствует. Их устанавливают на качающихся створках, благодаря чему появляется возможность раздвинуть неприводные гибочные ролики по мере увеличения диаметра рулона. Створки раздвигаются непосредственно самим рулоном, при этом их уравнивание осуществляется либо пружинами, либо противовесами. Применяют для этой цели также пневмоцилиндры. Рулоны из таких моталок удаляют, в основном, краном с помощью скобы.

Выбор мощности привода для моталки сводится к выбору мощности привода для подающих роликов, осуществляющих подачу полосы в моталку для образования витков рулона. Требуемый для этого изгиба момент определяют по формуле:

$$M = kW\sigma_{S[t]},$$

где k – коэффициент профиля для плоской прямоугольной полосы ($k=1,5$);
 W – момент сопротивления сечения полосы упругому изгибу, м^3 ;
 $\sigma_{S[t]}$ – предел текучести металла при температуре свертывания полосы,
Па.

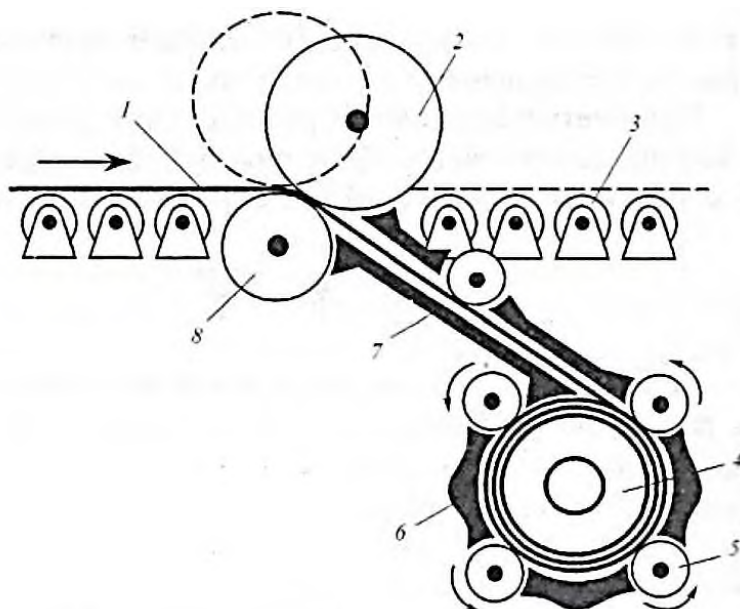
Требуемую для пластического изгиба мощность (кВт) находят по формуле:

$$N = Mv/1000R,$$

где v – скорость движения полосы, м/с ;
 R – радиус рулона, м .

Ролико-барабанную моталку (рисунок 65) применяют для сматывания в рулон со скоростью до 15 м/с широких (до 2300 мм) горячих полос с массой рулона до 25 т.

Ролико-барабанная моталка работает при высоких температурах (порядка 500...700 $^{\circ}\text{C}$) и охлаждается водой. Ролико-барабанная моталка по сравнению с описанными ранее моталками, является наиболее сложной по конструкции, так как в ней сочетаются, по существу, многороликовая моталка и моталка барабанного типа. Весь цикл работ автоматизирован.



1 - горячая полоса; 2, 8 - подающие ролики; 3 - рольганг; 4 - барабан;
 5 - формирующий ролик; 6, 7 - проводки
 Рисунок 65 – Ролико-барабанная моталка [3]

Рулон должен быть плотным, иначе облегчается доступ воздуха к его виткам, в результате чего образуется окалина и ухудшается микроструктура металла вследствие неравномерного охлаждения. Кроме того, необходимо исключить телескопичность витков, иначе кромки полосы повредятся при последующей транспортировке и хранении рулона на складе. Поэтому полоса сматывается с натяжением, что исключает образование петель на рольганге перед тянущими роликами при захвате полосы моталкой и сматывании ее в рулон.

После образования двух-трех первых витков формирующие ролики отводятся от рулона и дальнейшее сматывание тонкой горячей полосы (1...4 мм) осуществляется с натяжением барабаном моталки. При этом верхние тянущие ролики работают в генераторном (тормозном) режиме или же имеют зазор между роликами и полосой. В данном случае достаточно двух формирующих роликов с концентрическими проводками между ними.

В большинстве случаев сматывание толстой полосы (5...16 мм) осуществляется, когда в моталке устанавливают 2...3 пары прижимных роликов более жесткой конструкции. После захвата переднего конца полосы барабаном моталки прижимные ролики остаются прижатыми к полосе, а ее сматывание в рулон с натяжением осуществляется как прижимными роликами, так и барабаном моталки. В этом случае верхние ролики работают в режиме тянущих для полосы на рольганге и подающих для полосы, направляемой в моталку. По окончании намотки рулона барабан моталки, благодаря подвижным створкам, уменьшается в диаметре, а направляющие ролики освобождают рулон по его наружному диаметру. После этого рулон удаляется из моталки в осевом направлении специальным толкателем и устанавливается на тележке с подъемным столом.

Тележка переносит рулон на кантователь, поворачивающий его на транспортирующий конвейер. Приводы всех механизмов в основном пневматические и гидравлические.

Принципиальное отличие *намоточно-натяжных моталок* от других намоточных машин – одновременное выполнение наматывания рулона и натяжение полосы между моталкой и клетью прокатного стана. Такое натяжение улучшает состояние поверхности прокатываемой полосы и обеспечивает получение плотных рулонов.

На реверсивных станах для холодной прокатки полос натяжные моталки устанавливают с обеих сторон стана для создания переднего и заднего натяжений полосы с целью уменьшения давления проката на валки.

Намоточно-натяжные моталки по конструкции барабана можно подразделить на моталки с механическим зажимом конца полосы в барабане и моталки без какого-либо зажима на барабане.

Конструктивные особенности барабана этих моталок состоят в том, что для снятия рулона с барабана моталки в барабане предусматривают механизм уменьшения его диаметра. Натяжение полосы в начале наматывания в намоточно-натяжных барабанах осуществляется механизмом зажатия переднего конца полосы. Привод для этого механизма может быть либо гидравлическим, либо пневматическим.

В барабанах без зажатия переднего конца полосы захват полосы осуществляется захлестывателем, и натяжение создается силами трения двух-трех витков полосы, намотанных на барабан с его помощью.

Моталка современного высокоскоростного стана холодной прокатки конструкции ПО «Уралмаш» представлена на рисунке 6б.

С целью уменьшения маховых моментов и мощности электродвигателя моталка выполнена безредукторной с непосредственным приводом от электродвигателя несущего вала 1 при помощи вал-гильзы 2, соединенного с ним направляющей шпонкой 3. Барабан 4 консольный (с концевым подшипником 5 для дополнительной отводной опоры), сведение и разведение сегментов которого обеспечивается клиновыми направляющими. Осевое перемещение вала 1 барабана 4 осуществляется плунжерами 6 гидроцилиндров 7 и возвратными пружинами 8. Для перемещения вала 1 влево (сжатие клинового барабана) плунжеры 6 нажимают на упорный диск 9, последний перемещает диск 10 и внутреннюю чеку 11 вала 1, проходящую через отверстие в гильзе 2, при этом пружины 8 сжимаются. Обратное перемещение вала 1 (разжатие клинового барабана перед началом смотки) осуществляется (при уменьшении давления рабочей жидкости в гидроцилиндрах 6) при разжатии пружин 8. Приводной вал-гильза 2 смонтирован в подшипниках скольжения 12 в корпусе 13.

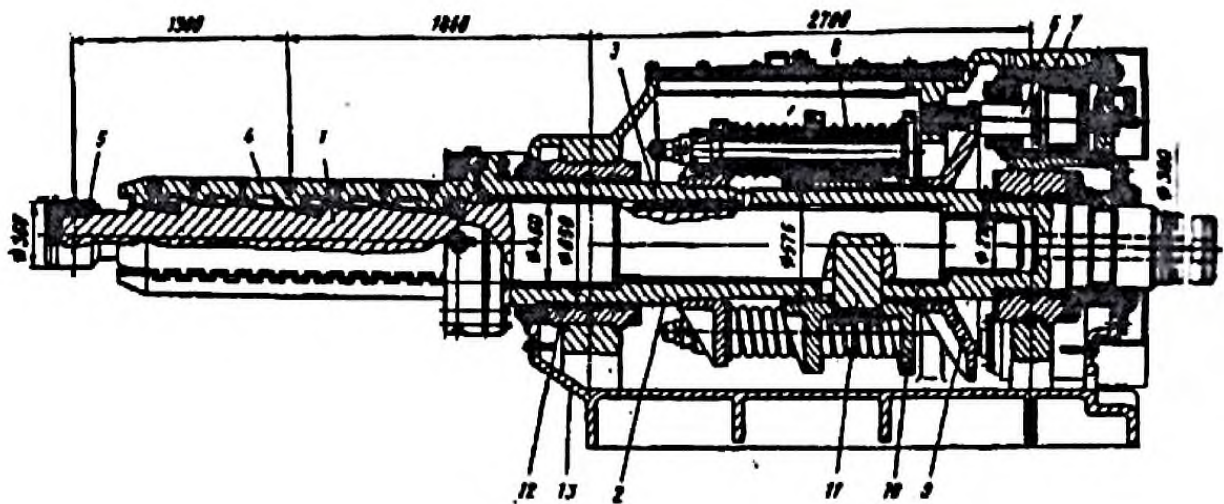


Рисунок 66 – Намоточно-натяжная полосовая моталка с безредукторным приводом [4]

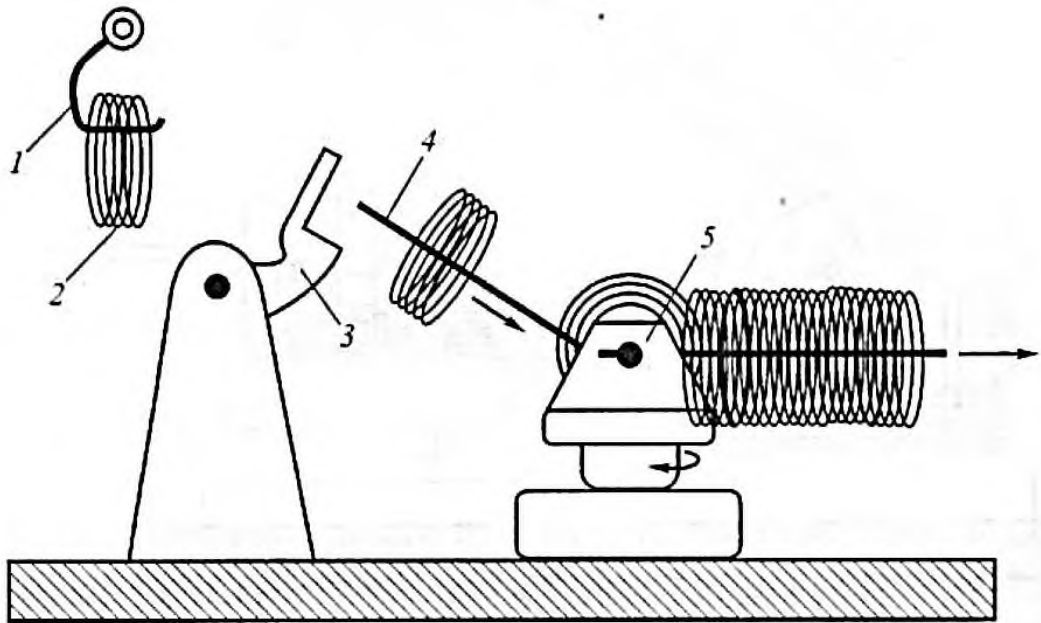
Моталка предназначена для сматывания тонкой полосы (0,5...2 мм) шириной до 1550 мм при скорости до 25 м/с, масса рулона 45 т.

Основная особенность привода состоит в том, что при постоянной скорости прокатки частота вращения барабана при наматывании должна уменьшаться, а при сматывании - увеличиваться. Но при этом сила натяжения должна оставаться постоянной в течение всего процесса наматывания. Для этой цели используют регулируемый электропривод.

Перед отправкой потребителю с целью предохранения от повреждения наружного витка полосы при транспортировке рулона и сохранения плотности витков рулона необходимо обвязывать рулон тонкой узкой лентой (толщиной 0,5...0,8 мм, шириной 20...30 мм). Обвязку рулонов осуществляют различными способами: 1) вручную, путем скрепления концов узкой ленты пряжкой-замком; 2) ручными устройствами аргоно-дуговой или контактной точечной электросварки концов ленты (или конца полосы к предыдущему витку на узких рулонах); 3) при помощи специальных механизированных устройств.

Бунты перед отправкой потребителю обвязывают в двух-четырех местах проволокой диаметром 3...6 мм на *бунтовязальной машине*.

Обвязанные бунты транспортируются крюковым подвесным конвейером, после чего снимаются с крюков и пакетируются с помощью *штыревого пакетиروщика* (рисунок 67).



1 - крюк; 2 - бунт; 3 - съемник; 4 - штырь; 5 - башня

Рисунок 67 – Штыревой пакетиروщик [3]

Рычажной съемник пакетиروщика с автоматическим включением принимает бунт, снимает его с крюка и нанизывает на штырь. После пакетиrowания 7...10 бунтов башня пакетиrowщика поворачивается на угол 90° . Пакет бунтов со штыря снимают с помощью мостового крана, снабженного Г-образной подвеской, и транспортируют на склад.

6 Агрегаты зачистки и травления проката

Высокое качество готового проката характеризуется однородностью физико-химических свойств металла (прочность, пластичность, коррозионная стойкость), отсутствием дефектов на поверхности (плены, риски, закаты, коробоватость) и внутри (расслоения, трещины, пузыри, неметаллические включения), а также правильной геометрической формой по всей длине полосы (профиля) (прямолинейность, планшность) [3-5].

Наличие дефектов в готовом прокате определяется качеством металла в исходных слитках и заготовках, режимом нагрева металла перед прокаткой, технологией холодной и горячей прокатки, совершенством операций по контролю дефектов и отделке готовой продукции.

Получение готового проката высокого качества возможно лишь тогда, когда на всех стадиях технологического процесса в прокатном цехе (начиная от слитка и кончая готовой продукцией) осуществляются контроль качества металла, устранение дефектов и отделка проката в механизированных и автоматизированных поточных линиях.

Сплошная обдирка слитков и заготовок является самым надежным способом удаления первичных дефектов на поверхности и осуществляется:

1) на токарных станках обычной (для круглых слитков и заготовок) и специальной конструкции с подвижными по контуру суппортами (для квадратных и прямоугольных слитков);

2) на продольно-строгальных станках;

3) на фрезерных станках обычного типа (усиленной конструкции) (операции выполняются с холодным металлом на станках, установленных в специальных отделениях прокатного цеха);

4) на термофрезерных станках при помощи фрезерных головок специальной конструкции, имеющих вставные режущие зубья для одновременного фрезерования (зачистки) грани и боковой кромки слитка (заготовки); термофрезерование – наиболее производительный и экономичный способ, осуществляемый при зачистке горячего металла (слитки, заготовки) в поточном его движении в процессе прокатки;

5) на машинах огневой зачистки; этот способ весьма эффективен при зачистке блюмов, слябов и заготовок в горячем состоянии при поточном движении их через отверстие соответствующей формы, образуемое газорежущими головками, имеющими щелевидные сопла для подвода природного газа (при давлении 50 кПа) и кислорода (при давлении 200...400 кПа); при скорости движения металла по рольгангу 0,3...1,0 м/с в газорежущей головке сжигается поверхностный слой металла (имеющий дефекты) глубиной 1,5...3,0 мм; образующийся шлак удаляют при помощи гидросбива;

б) на станках при помощи абразивных кругов; этот способ – малопроизводительный, но широко применяемый при зачистке заготовок и готового проката; при сплошной зачистке на механических станках (токарных, фрезерных, строгальных, абразивных) потери металла в стружку весьма значительны (5...15%); эти способы применяют только для зачистки легированных сталей, к качеству готового проката которых предъявляются высокие требования.

Для слитков, слябов и заготовок из углеродистых сталей применяют огневую и термофрезерную поточные зачистки как наиболее экономичные (отходы 1,5...3,0%) и высокопроизводительные.

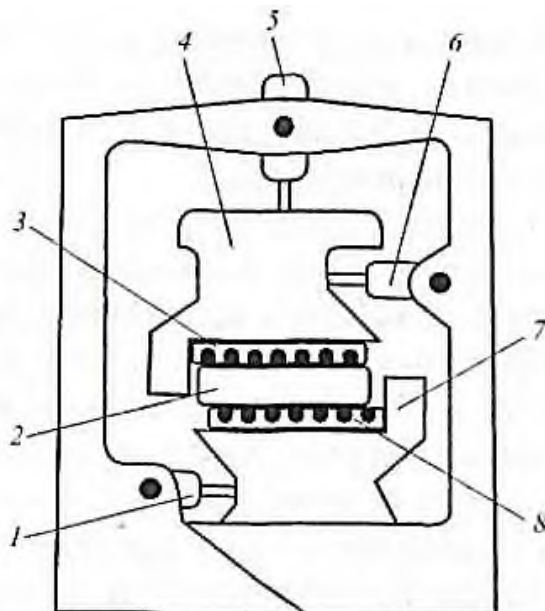
Перечисленные выше способы (кроме обточки на токарных станках) применяют также для выборочной зачистки местных дефектов на поверхности холодных слитков, блюмов, слябов, заготовки и готового проката. Такая зачистка позволяет значительно уменьшить отходы металла, но она малопроизводительна и требует применения ручного труда.

После прокатки слитков на блюминге (слябинге) на поверхности прокатанных блюмов (слябов) имеются трещины, закаты окалины и шлака, другие дефекты. Перед дальнейшей прокаткой блюмов (слябов) с их поверхности эти дефекты необходимо удалить, что осуществляется двумя способами:

1) зачисткой поверхности холодных блюмов и слябов на складе ручными автогенными резаками и пневматическими зубилами, обдиркой, строжкой и фрезерованием на станках и т.п.; эти операции малопроизводительны и требуют применения тяжелого труда;

2) зачисткой блюмов (слябов) сразу же после окончания прокатки их на блюминге (слябинге), то есть в потоке движения металла по рольгангу между станом и ножницами. Эта операция полностью механизирована и частично автоматизирована, поэтому получила за последние годы широкое применение на блюмингах (слябингах).

Машины огневой зачистки, применяемые в обжимных цехах металлургических предприятий, являются оборудованием 1960 – 1970-х гг. Тем не менее они надежно работают и сейчас, на них лишь периодически заменяют резаки. Машина огневой зачистки слябов устанавливается за рабочей клетью слябинга перед ножницами (рисунок 68). Она предназначена для зачистки на ходу поверхности слябов шириной до 1500 мм и толщиной до 250 мм одновременно с четырех или только с двух сторон. Толщина снимаемого поверхностного слоя металла (глубина зачистки) – 1,5...3 мм.



1, 5, 6 - гидроцилиндры; 2 - сляб; 3, 8 - газорезущие блоки; 4,7 - суппорты
Рисунок 68 – Машина огневой зачистки [3]

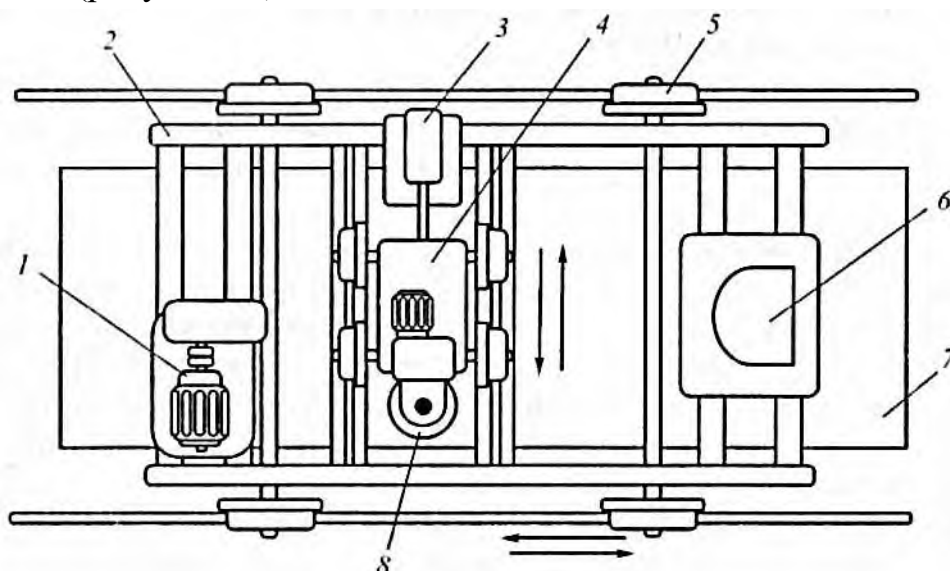
Верхний и нижний газорезущие блоки, установленные на суппортах и перемещаемые по вертикали и горизонтали гидроцилиндрами, имеют щелевидные сопла, расположенные под углом около 25° к поверхности металла. При движении блоков к металлу автоматически включается подача к соплам кислорода и горючего газа (ацетилена, природного или коксового газа), загорающих от горячего металла. Поверхность металла оплавляется и в этот момент включается подача режущего кислорода (чистотой 96...98%), в котором сгорает металл, благодаря чему температура пламени повышается до $2500...3000^\circ\text{C}$ и соответственно поверхностный слой металла расплавляется. Одновременно включается система для гидросбива образующегося шлака водой высокого давления (до 30 атм).

При сплошной огневой зачистке сжигается поверхностный слой металла толщиной до 2,5 мм; потери металла составляют 1,5...2,5%. При такой относительно большой потере металла сплошная огневая зачистка блюмов (слябов) целесообразна только для наиболее дешевой малоуглеродистой стали при наличии значительных дефектов на поверхности по всей длине блюмов (слябов). Во многих случаях, особенно для блюмов (слябов) из качественной стали применяют огневую зачистку только с двух сторон блюмов (слябов), выборочную зачистку в потоке (не всех слябов, а только имеющих значительные дефекты), а также выборочную зачистку холодных блюмов (слябов) на складе.

На малых блюмингах, прокатывающих слитки из легированной стали и заготовочных станах вместо машины огневой зачистки иногда устанавливались многолезцовые дисковые фрезерные станки для снятия стружки с горячих слитков, блюмов и заготовки (термофрезерование).

Способ огневой зачистки металла по сравнению с абразивной имеет недостатки: сложность обслуживания машин огневой зачистки, повышение себестоимости проката, большой расход металла, сильное окисление продуктов зачистки. Абразивная же зачистка позволяет равномерно снимать поверхностные дефекты проката. Широко применяется абразивная зачистка заготовок на специальных шлифовальных станках, входящих в состав поточных механизированных агрегатов.

Машины с абразивными дисками применяют для сплошной и выборочной зачистки поверхности толстых листов для удаления плен, мелких трещин и других дефектов (рисунок 69).



- 1 - электропривод механизма передвижения тележки; 2 - рама тележки;
 3 - гидроцилиндр; 4 - зачистная тележка; 5 - ходовое колесо;
 6 - пульт управления; 7 - лист; 8 - шлифовальный диск

Рисунок 69 – Шлифовальная машина для зачистки листов [3]

Рама-тележка имеет ходовые колеса и движется по рельсам вдоль зачищаемого листа. Поперек листа по направляющим перемещается на роликах зачистная тележка с помощью гидроцилиндра. На этой тележке установлен шпиндель со шлифовальным (абразивным) кругом. К зачищаемому листу круг прижимается пневматическим цилиндром и вращается электродвигателем. Для уборки образующейся при зачистке пыли имеется пылеотсасывающее устройство, а для питания гидроцилиндров – насосная установка. Машиной управляет оператор с пульта. При зачистке абразивный круг перемещается вдоль и поперек листа и одновременно совершает возвратно-поступательное движение.

Зачистка толстых листов из качественных и легированных сталей выполняется в специальном отделении цеха, в котором установлены механизированные линии с машинами для выборочной (с одним шлифовальным кругом) или сплошной (с двумя кругами) зачистки.

Кроме обдирки окалину с поверхности горячекатаной полосы из углеродистой стали удаляют химическим способом в непрерывных травильных агрегатах путем растворения в кислотных растворах.

На линиях травления удаляют с поверхности проката оксиды, образовавшиеся при горячей прокатке или термической обработке в воздушной среде (прокатная или термическая окалины), и в некоторых случаях, - дефектный докалинный слой металла. Травление может быть промежуточной операцией производства между горячей и холодной прокатками или завершающей отделочной операцией.

Состав, толщина и свойства окалины изменяются в широких пределах в зависимости от природы металла или сплава, термических режимов прокатки или термической обработки и определяют выбор среды травления, его длительность, и параметры оборудования. В линиях для удаления окалины обычно используют воздействие нескольких различных по природе факторов, но основной из них - воздействие раствора минеральной кислоты или смеси кислот с добавками солей и ингибиторов травления (или без них).

Окалина на прокате из низкоуглеродистых сталей наименее инертна и растворяется в горячем растворе серной или соляной кислоты.

Наибольшей активностью обладает 26%-ный раствор серной кислоты при температуре 95°C. Широко также применяется травление в растворе соляной кислоты, которая дешевле серной и почти в 2 раза быстрее растворяет окалину.

На практике выявлены следующие преимущества травления в соляной кислоте: лучшее качество поверхности после травления; уменьшение потерь металла при травлениях.

Для интенсификации процесса травления посредством выделения водорода, механически отрывающего окалину от металла, используется способ электролитического травления. Полоса проходит в ванне между широкими свинцовыми электродами, обеспечивающими плотность тока 10...12 А/дм².

Окалина на прокате из аустенитных коррозионностойких сталей и электротехнических сталей в растворах серной кислоты растворяются очень медленно.

Кроме того, при разматывании рулонов на полосы из этих сталей образуются поперечные изломы, поэтому для повышения пластических свойств полосы перед травлением подвергают отжигу (кремнистые стали) и закалке после нагрева до 1050°C (нержавеющие стали).

Образовавшуюся и плотно соединенную с основным металлом окалину предварительно обрабатывают в расплаве щелочи (70% NaOH) и селитры (30% NaNO₃), которые переводят средние оксиды Cr₂O₃ в легкорастворимые высшие CrO₃ (щелочное рыхление). Окислители, обычно HNO₃ или ее соли, содержатся в растворе для последующей кислотной обработки.

Такая же и еще более инертная окалина образуется при прокатке и термообработке прецизионных сплавов.

Горячекатаные полосы из низкоуглеродистых сталей, предназначенные для холодной прокатки, требуют тщательного удаления окислыны.

Травление происходит обычно в одну операцию в растворах серной или соляной кислоты.

Отработанные растворы, насыщенные солями железа, *регенерируют* несколькими способами.

Для сернокислотных растворов распространена вакуумная кристаллизация, продуктом которой является технический железный купорос, загрязненный нерастворившейся окислыной – пиролитическое разложение, дающее смесь тонкодисперсных оксидов железа.

Конструктивное исполнение узлов травления подразделяют на три основных типа: первый тип – травильная ванна-бак; второй – ванна-лоток со встречным движением полосы потоком раствора; третий – вертикальная башня со струйной подачей раствора.

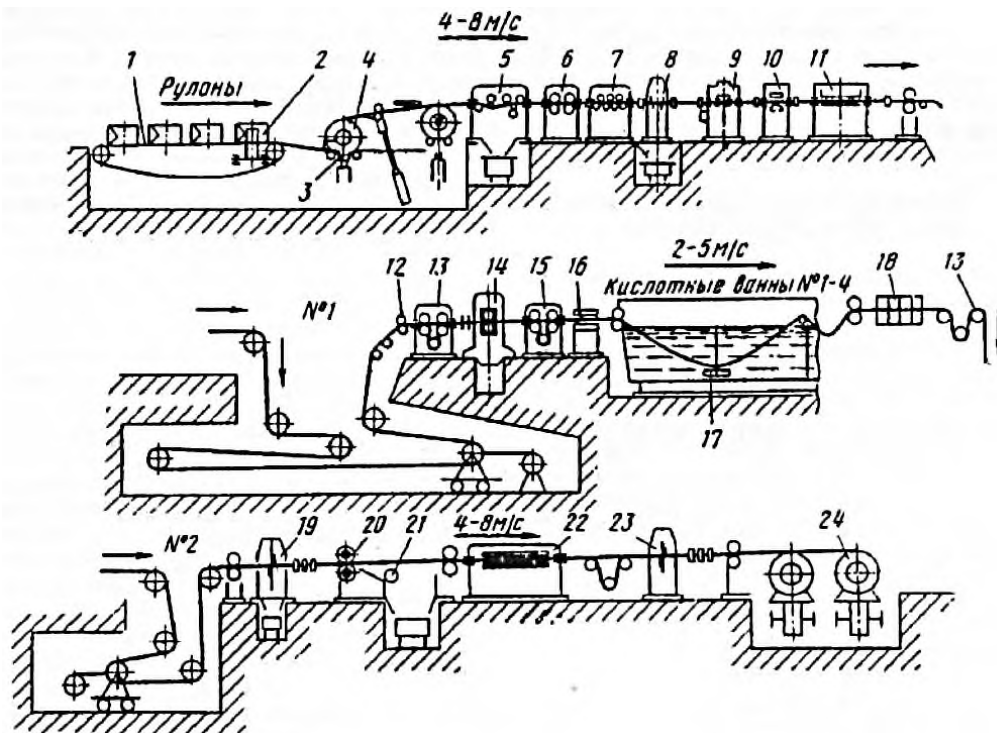
На рисунке 70 представлена схема непрерывного травильного агрегата (НТА) годовой производительностью 1,0 млн. т, выполненного *по первому типу*.

Агрегат предназначен для травления углеродистой горячекатаной полосы толщиной 1,5...6 мм и шириной 900...1850 мм в растворе соляной кислоты.

Технологическая часть НТА первого типа состоит из ряда последовательно установленных ванн длиной 10...20 м каждая, так что длина полосы, погруженной в раствор может достигать 100 м и более. Ванны соединены друг с другом и образуют каскад. Свежий травильный раствор подается из бака-накопителя регенератора в последнюю по ходу полосы ванну травления и перетекает к первой ванне, обогащаясь солями железа и обедняясь по кислоте.

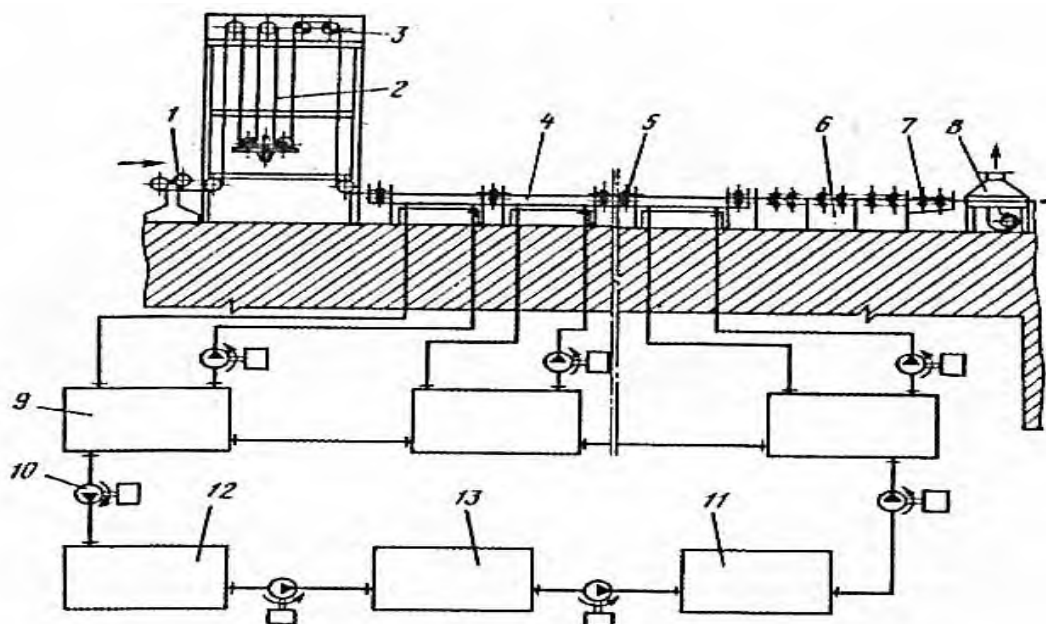
Начальная концентрация кислоты составляет 18...29%, конечная 3...10%, содержание солей железа увеличивается.

Подача обогащенного кислотой регенерата в линию происходит по сигналам концентратометров, установленных в первой и последней ваннах. Компенсация кислоты, расходуемой на образование солей и вынос раствора полосой, происходит автоматически из бака со свежей кислотой.



- 1 - транспортер рулонов; 2 - кантователь, 3 - подъемный стол; 4 - разматыватель (двухпозиционный); 5 - окалиноломатель; 6 - тянущие ролики; 7 - правильная машина; 8, 19, 23 - гильотинные ножницы; 9 - стыкосварочная машина; 10 - гратосниматель; 11 - шивная машина (для полос из нержавеющей стали); 12, 13, 15 - ролики соответственно направляющие и тянущие; 14 - дрессировочная клеть, обеспечивающая обжатие на 1-2 % для лучшего разрушения окалины; 16 - индукционная установка для подогрева полосы; 17 - индукционный датчик для провисания полосы в кислотной ванне; 18 - ванны промывки с холодной и горячей водой, струйного смыва окалины и остатков кислоты под давлением 1-1,2 МПа в сушильной камере; 20 - дисковые ножницы для обрезки боковых кромок; 21 - кромкокрошитель; 22 - установка электростатического промасливания; 24 - моталка; №№1, 2 - накопители (аккумуляторы) полосы
- Рисунок 70 – Схема НТА с глубокими ваннами [4]

Второй тип НТА с ванной-лотком (рисунок 71) имеет более совершенную конструкцию травильного узла. В ванной-лотке поток травильного раствора, подаваемого циркуляционными насосами из баков, течет против движения полосы со скоростью 0,5...1,0 м/с относительно ванны, что обеспечивает турбулентный режим течения у поверхности полосы и сокращает продолжительность травления на 30% по сравнению с продолжительностью этого процесса в ваннах погружного типа.



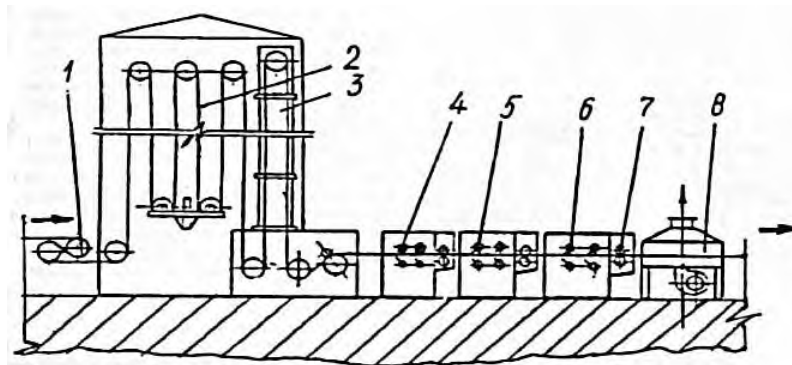
1 - натяжная станция; 2 - накопитель полосы; 3 - центрирующее устройство; 4, 6 - ванна соответственно травления проточного типа и трехступенчатой промывки; 5, 7 - ролики соответственно транспортные и отжимные;

8 - сушилка полосы; 9, 11 - баки соответственно циркуляционный и для хранения регенерированного раствора; 10 - насос для перекачки раствора; 12 - бак-сборник отработанного раствора; 13 - регенерационная установка

Рисунок 71 – Схема технологической части НТА с ваннами проточного типа [4]

В этом отношении более эффективен *третий тип НТА* – вертикальная башня (рисунок 72), в которой на поднимающуюся и опускающуюся части полосы травильный раствор подается струями. Конструкция НТА с вертикальной башней сильно сокращает габаритные размеры агрегата по длине, но из-за трудностей, связанных с обеспечением герметичности башни и удалением обильно выделяющихся паров и аэрозолей кислот, этот тип агрегатов не получил широкого распространения.

Из узла травления полоса поступает в каскадную противоточную систему промывки, состоящую, обычно, из трех ванн, разделенных отжимными роликами. Вода подается на обе стороны полосы из струйных коллекторов насосами; на выходе из третьей ванны полоса промывается свежей горячей водой и поступает в сушильное устройство. Полнота промывки очень важна для предотвращения коррозии полосы при ее последующем хранении и поэтому контролируется по электропроводности воды в последней ванне. Промывные воды затем поступают на очистные сооружения и в цикл оборотного водоснабжения. Сухая полоса промасливается (обычно жидким минеральным маслом) в установке электростатического промасливания или в валковой машине и свертывается в рулон.



1 - натяжная станция; 2 - накопитель полосы; 3 - травильная башня;
 4-6 - ванны струйной промывки соответственно холодной водой, горячей
 водой и нейтрализующим раствором; 7 - отжимные ролики; 8 - сушилка полосы
 Рисунок 72 – Схема технологической части НТА агрегата
 башенного типа [4]

Корпусное оборудование горизонтальных НТА изготавливают из конструкционной стали, затем подвергают многослойному гуммированию и футеруют кислотоупорной керамикой. Вдоль боковых стенок имеются коллекторы для отсасывания паров кислоты, сверху ванны плотно накрыты крышками из кислотоупорного пластика. Торцевые полосы щели для входа и выхода полосы имеют уплотнения из кислотостойкой резины. Полимерные материалы используют для кожухов струйных башен, трубопроводов и коллекторов.

Термическая и прокатная плотная окалина на полосах из коррозионно-стойких сталей и прецизионных сплавов, содержащая смесь оксидов, растворяется очень медленно в простых кислотных растворах. Для удаления такой окалины прибегают к ряду последовательных воздействий как химических, так и механических. Традиционная последовательность операций – обработка в щелочном расплаве, затем основное травление в кислотном растворе при потенциалах активного растворения и завершающая обработка в окислительной среде – осветление.

Обработка в расплаве щелочи при температуре 400...500°С в присутствии окислительных солей – нитратов или нитритов – приводит к тому, что трудно-растворимые оксиды средних степеней окисления превращаются в легко-растворимые в кислоте высшие оксиды. Реже в состав расплава вводят восстановитель, обычно гидрид натрия, который восстанавливает оксиды из металла. Происходит так называемое рыхление окалины, благодаря которому сильно облегчается ее последующее растворение в кислотах.

Из-за большого выноса щелочных расплавов полосой (до 100...200 г/м²) за ванной с расплавом устанавливают сложные и расходующие много воды промывные устройства, которые, тем не менее не всегда обеспечивают полную отмывку поверхности. Часть щелочи переносится в кислотную ванну и нейтра-

лизуется там, вызывая бесполезный расход кислоты. По этой причине обработку в расплавах стараются заменить иными воздействиями, однако на предприятиях с большим разнообразием обрабатываемых сплавов ванны с щелочным расплавом ничем не заменяют из-за их универсальности.

Промытая после щелочной обработки полоса поступает в основную ванну травления, приготовленную обычно на основе серной или соляной кислоты, где должна раствориться вся окалина, преобразованная в щелочном расплаве. Почти всегда травильный раствор содержит окислитель – азотную кислоту или ее соли.

Травление завершается в ванне осветления, содержащей обычно смесь 8...10% азотной и 2...3% фтористоводородной кислот. В этой среде становятся растворимыми частицы карбидов, сульфидов и других избыточных фаз, накопившихся на поверхности в течение предыдущих операций и образующих темный налет так называемого травильного шлама. Поверхность осветляется и приобретает товарный вид.

Для отработанных щелочных расплавов и кислотных растворов отсутствуют надежные регенерационные технологии – их приходится нейтрализовать и осаждать содержащиеся в них металлы в виде гидроксидов или карбонатов, с принятием мер по защите окружающей среды.

Три основных ванны агрегатов щелочно-кислотного травления содержат в своих травильных средах летучие и агрессивные компоненты, поэтому их снабжают мощными вентиляционными устройствами, изготовленными из стойких материалов – полимеров, высоколегированных сталей или титана.

Конструкции ванн для щелочного расплава и кислотных солей однообразны: полосы пропускаются по горизонтальным ваннам, образуя в них свободно провисающие петли. Корпус ванны для щелочного расплава сваривают из конструкционной стали и его не футеруют, так как расплав не агрессивен к стали. Кислотные ванны гуммируют и футеруют кислотоупорной керамикой; для азотофтористоводородной смеси кислот применяют футеровку графитовыми плитками. В связи с тем, что длительные остановки полос в основной кислотной ванне приводят к локальной коррозии металла, агрегаты щелочно-кислотного травления снабжают входными и выходными накопителями полосы.

7 Агрегаты покрытия и термообработки проката

Покрытия, наносимые в непрерывных линиях на полосовой прокат, имеют узко специальное назначение или служат для защиты стали от воздействия климатических факторов (этот тип покрытий имеет несопоставимо большие масштабы применения и значимость для решения проблемы защиты стального проката от коррозии).

Специальные покрытия – это оловянное и хромовое покрытия, используемые для защиты консервной тары в пищевой промышленности, а также свинцовое покрытие, наносимое преимущественно методом погружения в расплав металла, которое традиционно применяют для защиты топливных баков и других деталей автомобиля или трактора, соприкасающихся с нефтепродуктами.

Защитные свойства оловянного покрытия от воздействия агрессивных пищевых продуктов, не содержащих растворенного кислорода, объясняются природной инертностью олова. В некоторых не сильно агрессивных пищевых средах оловянное покрытие может быть заменено весьма тонким - (0,02...0,03 мкм) слоем электроосажденного хрома, который благодаря высокой инертности пассивного хрома и прочной адгезии лакового покрытия к хрому, создает комплекс защитных свойств. На металлические слои олова наносят тонкие аморфные пленки хроматов, состоящие в основном из соединений трехвалентного хрома, которые блокируют коррозионные реакции в порах покрытия и благоприятно сказываются на адгезии наносимых впоследствии лаковых покрытий, а в случае оловянного покрытия, отодвигают во времени развитие коррозионных процессов на самом покрытии.

Цинкование проводится на непрерывно-цинковальных агрегатах путем погружения проката в ванну с расплавленным цинком при температуре до 460°C. Эффективность этих покрытий на стали объясняется тем, что цинк, являясь активным металлом, в обычных атмосферных условиях покрывается самовозобновляющейся оксидной пленкой, тормозящей коррозионный процесс; в среднем, скорость коррозии чистого цинка на один порядок меньше, чем у незащищенной стали. Кроме того, цинковое покрытие на стали обладает протекторным действием по отношению к ней, то есть в местах несплошностей в покрытии разрушение локализуется на самом покрытии, а коррозия основного металла благодаря электрохимическому воздействию оказывается сильно заторможенной или полностью подавленной. Средний срок службы горяченанесенного цинкового покрытия средней массой 180 г/м² (300 мкм) в сельской местности составляет 11 лет, в приморских районах с повышенной влажностью воздуха и наличием аэрозолей – 8 лет, а в промышленных районах – в пределах 4 лет, что объясняется чувствительностью цинка к воздействию сернистой ки-

слоты, содержащейся в загрязненном воздухе.

Покрытия из сплавов цинка с рядом металлов обладают существенно большими защитными свойствами, чем покрытия из чистого цинка. Прежде всего это относится к сплавам цинка – люом и гальфан, содержащим соответственно 54...55 и 5...6% алюминия, а также около 1,5% кремния, вводимого в расплавы для подавления взаимодействия алюминия со сталью. Эти покрытия, особенно покрытия цинколюмом, обладают очень высокой стойкостью в промышленной и морской атмосфере.

Чисто алюминиевые покрытия, получаемые погружением в расплав, не имеют протекторных свойств и для защиты от атмосферной коррозии их применяют меньше, чем сплавы с цинком и др. В состав оборудования линий горячего алюминирования входит керамическая ванна. Скорость прохождения полосы достигает 12 м/мин, толщина покрытия – 25 мкм, температура ванны – до 700°C.

Электроосаждаемые покрытия из цинка и его сплавов в виду малой толщины применяют редко, но в сочетании с полимерным покрытием они дают превосходный защитный эффект: упомянутые сплавы цинка сохраняют протекторные свойства по отношению к стали и сохраняют адгезию полимерного покрытия к основе.

При отсутствии подслоя из цинка или его сплавов подпленочная коррозия при повреждениях развивается интенсивнее, приводя к отслаиванию полимерного покрытия.

Основными материалами для металлических покрытий труб являются цинк, алюминий, сплавы цинка с алюминием.

Защитные свойства полимерных покрытий определяются проницаемостью для коррозионной среды, стабильностью ингибировать развитие коррозии под слоем покрытия, способностью сохранять низкую проницаемость во времени под воздействием солнечной радиации, кислорода и влаги воздуха, способностью сохранять адгезию к основе. Современные системы лакокрасочных покрытий проницаемы для воды и кислорода. Задача состоит в снижении этой проницаемости до минимума. Диффузия через слой покрытия затормаживается подбором полимерного связующего и введением в него пигментов – тонкодисперсных частиц минерального происхождения, увеличивающих путь диффузии и снижающих скорость электрохимических реакций на поверхности металла. К таким пигментам относятся хромат свинца, хромат и молибденат цинка и ряд других соединений, выделяющих ионы, способные приводить сталь в пассивное состояние. Применяют также введение дисперсной цинковой пыли, действующей протекторно подобно монолитному цинковому покрытию. В грунтовые покрытия, прилегающие к металлу, вводят ингибирующие пигменты. Для покровных слоев применяют большое разнообразие полимерных связующих на

основе синтетических смол, каждое из которых обладает специфическим набором свойств, учитываемых при выборе материала. При правильном выборе металлического подслоя и системы полимерных покрытий можно достичь срока службы защищенного металла 25 лет без ремонта в атмосферах средней и высокой агрессивности.

Для удаления смазки с поверхности проката, получаемого холодной прокаткой с применением жировых эмульсий или минеральных масел перед последующей термообработкой используют линии обезжиривания. Тщательное обезжиривание необходимо в случаях нанесения на прокат покрытия, так как твердые продукты термического разложения неудаленных органических веществ после термической обработки и дисперсные частицы металлической природы, оставшиеся на поверхности, снижают качество покрытий.

В основном прокатную смазку удаляют по двум технологиям: 1) с применением органических растворителей; 2) с применением щелочных водных растворов (хлорированных углеводов). По полноте обезжиривания обе технологии дают близкие результаты.

Органические растворители используют, в основном, в установках небольшой производительности для очистки лент из специальных сплавов и цветных металлов. Водные щелочные растворы применяют для обезжиривания массовых видов тонколистового проката и жести. Растворы для обезжиривания готовят из щелочных солей (карбонатов, орто- и полифосфатов), силикатов натрия или калия, иногда в сочетании с гидроксидами натрия или калия (общая концентрация солей и гидроксидов обычно не превышает 100 г/л).

Общепринятая последовательность операций в скоростной непрерывной линии следующая: 1) обработка поверхности струями горячего раствора для размягчения жировой пленки («замочка»); 2) обработка вращающимися щетками, под которые подается обезжиривающий раствор; 3) электролитическое обезжиривание в таком же растворе. На всех стадиях процесс протекает тем интенсивнее, чем выше температура раствора. Поэтому ее верхний предел ограничивают или по интенсивности парообразования, или по другим соображениям, связанных со стойкостью материалов.

Продолжительность «замочки» составляет 0,2...0,5 с. Время электролитической операции зависит от плотности поляризующего тока и при 10...15 А/дм² составляет 1...15 с.

При такой последовательности операций основную часть загрязнений удаляют на двух первых стадиях, в связи с чем для каждой из этих операций предусмотрена самостоятельная циркуляционная система с отдельным объемом раствора, позволяющая независимо заменять отработанные, насыщенные загрязнениями растворы.

Скорость движения полосы в линиях обезжиривания достигает 10 м/с.

Так как обезжиривающие растворы неагрессивны к стали и полюсу можно оставлять в контакте с ними на любое время, линии обезжиривания не снабжаются входными и выходными накопителями полюсы.

Менее распространено технологическое решение, по которому вся нагрузка по удалению загрязнений перенесена на электролитическую операцию путем ее интенсификации. Плотность тока на этой операции достигает 100...200 А/дм². Удельный расход электроэнергии на электрод при использовании этой технологии возрастает, но отпадает необходимость в механическом воздействии вращающихся щеток.

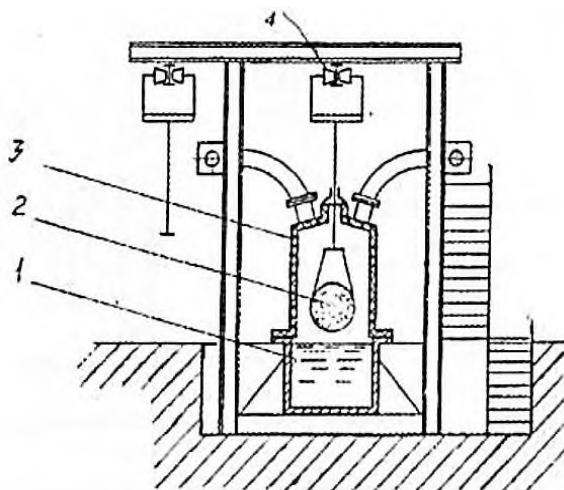
После обезжиривания выполняется промывка полюсы горячей водой (обычно в две-три ступени с противотоком и с применением щеточно-моечных устройств для полноты отмывки). Затем полюса просушивается струями горячего воздуха.

Среди разнообразных конструктивных исполнений линий обезжиривания преобладает горизонтальная компоновка. Однако, достаточно часто в целях экономии места применяют ванны электролитического обезжиривания и струйной промывки с вертикальными петлями полюсы. Электрическое обезжиривание осуществляют биполярно (пропуская полюсу между парами электродов, попеременно меняющих знак поляризации) или монополярно (с помощью токоведущих роликов). В последнем случае используют катодную поляризацию, являющуюся более эффективной из-за в 2 раза большего, чем при анодной поляризации объема выделяющегося электродного газа.

Обезжиривание и химическую обработку труб производят в специальных стальных ваннах, гуммированных (футерованных) внутри химически стойким керамическим материалом. Растворы до 40...60°С подогревают с помощью змеевиков-теплообменников, смонтированных внутри ванны. Широко применяются герметичные туннельные линии химической обработки труб (рисунок 73), полностью исключая попадание паров вредных выделений промывных растворов в атмосферу цеха.

В таких установках ванны химической обработки расположены последовательно в одну линию в соответствии с технологической схемой обработки. Сверху ванны закрыты кислотостойким кожухом-туннелем, в верхней части которого выполнена узкая щель для прохода троса, на котором укреплена подвеска с пакетом труб. Транспортирование пакета внутри туннеля, опускание его в ванну и подъем производится тельферными тележками, управляемыми по заданной программе.

Для термической обработки, ускоренного охлаждения металлопроката и нанесения на него защитных антикоррозионных покрытий на металлургических заводах устанавливают непрерывные линии и агрегаты.



1 - ванна химической обработки; 2 - пакет труб; 3 - туннельное перекрытие; 4 - механизм транспортирования труб

Рисунок 73 – Схема туннельной линии химической обработки труб [4]

На металлопрокате толстые металлические покрытия получают, опуская его в расплав металла, а тонкие – электрическим путем. Пластмассы и лаки наносят на листы в виде пленок или порошков с помощью вращающихся валков и электрических полей высокого напряжения.

Термин «плакирование» означает нанесение на поверхность проката слоя другого металла или сплава термомеханическим способом. В процессах производства листовой, полосовой и ленточной стали полуфабрикат плакируют оловом, медью, цинком и пленками других металлов. Развитие производства полимерных материалов послужило основой для перехода от металлических к более технологичным и экономичным полимерным покрытиям.

Термическая обработка прокатных изделий существенно улучшает их механические свойства. При термическом упрочнении прокатные изделия, нагретые до температуры выше верхней критической точки, интенсивно охлаждаются водой. Если изделия охлаждаются с прокатного нагрева непосредственно после деформации металла в прокатном стане, то осуществляется процесс высокотемпературной термомеханической обработки. При этом упрочнение, возникающее в результате пластической деформации аустенита в прокатных валках, суммируется с упрочнением, обусловленным быстрым охлаждением стали. При высокотемпературной термомеханической обработке, как правило, повышаются прочность, пластичность и ударная вязкость стали. Если же прокат охлаждают после отдельного (повторного) нагрева, осуществляется обычная упрочняющая термическая обработка. Эффект дополнительного упрочнения и увеличения пластичности в данном случае не наблюдается.

На узкополосных и широкополосных станах холодной прокатки применяется непрерывный отжиг полосы.

При отжиге широкой полосы в рулонах часто происходит сваривание от-

дельных витков. Во избежание этого приходится проводить низкотемпературный отжиг (ниже 720°C), который снимает напряжения, полученные металлом в результате холодной деформации при прокатке, но не изменяет структуру металла.

Непрерывный отжиг движущейся полосы позволяет нагревать ее в интервале критических температур ($720\dots 940^{\circ}\text{C}$), что обеспечивает полное изменение как механических свойств, так и структуры металла. Кроме того, отсутствуют цвета побежалости на кромках – еще одно преимущество перед отжигом в рулонах. Для получения непрерывной полосы концы рулонов свариваются встык, после чего полоса проходит ванны электролитической очистки, петлевую башню и поступает в камеру предварительного подогрева (до 400°C), где делает шесть вертикальных параллельных ходов длиной 84 м. Далее лента проходит секцию, где нагревается до температуры отжига (720°C и выше) при скорости нагрева до 25°C в секунду, подвергаясь непосредственному воздействию излучения от настенных вертикальных элементов сопротивления. Затем полоса проходит зону выдержки (для выравнивания температуры), зону быстрого охлаждения до 150°C , зону окончательного охлаждения до 50°C , петлевую башню и наматывается на моталку. Для получения светлого отжига в зоны нагрева подается защитный газ, состоящий из азота и 5% водорода.

Ролики печи и их оси изготовлены из легированных жаропрочных сплавов. Для роликовых подшипников предусмотрено водяное охлаждение. По наружным сторонам печи размещены площадки и лестницы, с которых ведется обслуживание. Если же обрыв полосы произошел в печи, то можно поднять один из концов полосы через отверстие вверху камеры и соединить его с другим концом при помощи переносного сварочного аппарата. Нормальный процесс отжига полосы регулируется изменением скорости ее движения, количеством подводимого тепла и скорости охлаждения.

Длина установки достигает 100 м, высота – 20 м, длина полосы в ней – около 1000 м, скорость движения полосы – 19 м/с.

Для отжига применяется главным образом электрический нагрев, но есть печи и с газовым нагревом, осуществляемым при помощи горелок. При средней скорости движения полосы через печь в 5 м/с продолжительность отжига составляет всего 1,5 мин. от начала нагрева.

С точки зрения прохождения металла с цикличностью, необходимой для поточного производства, и возможности быстрого опораживания печи при необходимости наиболее совершенными являются печи с роликовым подом, представляющим собой по сути продолжение рольганга цеха. Однако использование печей с роликовым подом ограничивается в результате недостаточной стойкости роликов в высокотемпературных печах при их значительной ширине. Поэтому распространены также печи с шагающим подом, применяемые при на-

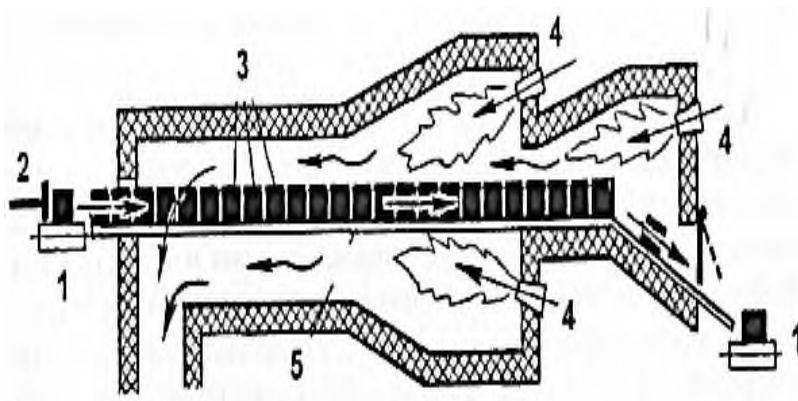
греве заготовок длиной 10...14 м.

Режим нагрева металла перед прокаткой (и другими видами ОМД) имеет большое значение. С одной стороны, следует стремиться подавать на прокатку заготовки с более высокой температурой, так как при этом повышается пластичность металла, снижается сопротивление деформации. Но температура не должна достигать температуры солидуса: 1400°С для малоуглеродистых и 1300°С для углеродистых сталей. Пластическая деформация сталей при высоких температурах сопровождается их разрушением. Исключение составляет изготовление сварных водопроводных и газовых труб, печная сварка которых осуществляется при 1300...1350°С.

Негативные последствия нагрева сталей – окалинообразование и обезуглероживание поверхностных слоев заготовки. Практически стальные заготовки перед прокаткой нагревают до 1200...1280°С.

Для нагрева металла перед ОМД используют печи:

- камерные, в том числе колодцы для нагрева слитков перед прокаткой их на блюминге или слябинге;
- методические (рисунок 74) – для нагрева заготовок;
- колпаковые и протяжные – для отжига холоднокатаной ленты.



1 - рольганг; 2 - толкатель; 3 - нагреваемые заготовки; 4 - горелки;
5 - водоохлаждаемые глиссажные трубы

Рисунок 74 – Схема методической печи [2]

Температурный режим нагрева слитков и заготовок перед горячей обработкой давлением зависит, главным образом, от свойств металла в литом (слиток) и деформированном (заготовка) состояниях. При установлении температурного режима для заданного состава металла или сплава следует учитывать химический состав и способ выплавки металла, его механические свойства, конструкцию нагревательной печи, форму, размер и расположение заготовки в печи.

Выбор оптимального режима нагрева заготовок в трубном производстве особенно важен, так как с одного нагрева ведутся прошивка и прокатка загото-

вок последовательно в нескольких станах. Так как трубы (особенно тонкостенные) охлаждаются достаточно быстро, то их температура в последующих станах (обкатных, калибровочных, редуционных) должна быть достаточной для процесса раскатки, при этом не должно быть большого температурного перепада между передним и задним концами трубы. Если нельзя этого достичь, то приходится вводить промежуточный подогрев труб.

Основные требования к качеству нагрева металла заключаются в том, чтобы нагреть заготовки до максимально допустимой температуры без перегрева и пережога.

Повышая температуру обработки, необходимо следить за тем, чтобы не ухудшались условия захвата металла в валках в прошивных станах винтовой прокатки. Кроме того, металл при высоких температурах интенсивно окисляется, что приводит к сильному окалинообразованию или даже оплавлению металла.

Высокие температуры нагрева заготовки создают большие термические напряжения на поверхности инструмента, которые вызывают на валках и линейках трещины и местные выкрашивания металла. Поврежденная поверхность валков и линеек ухудшает поверхность прокатываемой трубы, оставляя на ней отпечатки, а инструмент преждевременно выходит из строя.

При деформации заготовки, нагретой до более высокой температуры, уменьшается расход энергии и давление на инструмент, ускоряется процесс обработки.

На прошивных станах и прессах при больших деформациях металла за счет превращения механической энергии в тепловую происходит повышение температуры заготовки, которая достигает 30...60°C на прошивных станах и до 90°C на прессах. Для углеродистых сталей такое повышение температуры на практике обычно не учитывается, а для легированных сталей и сплавов оно имеет большое значение. В практике трубного производства бывают случаи полного разрушения труб из стали ШХ15 при перегреве на 20...30°C.

В общем случае температура нагрева углеродистой стали должна быть на 100...150°C ниже температуры начала плавления. Для легированных и высоколегированных сталей, более чувствительных к перегреву и пережогу, температурный интервал нагрева необходимо устанавливать наиболее точно с обязательным учетом разогрева в процессе прошивки. Температуру нагрева этих сталей устанавливают на 20...40°C ниже области температур максимальной пластичности.

В современных трубопрокатных агрегатах при производстве бесшовных труб для нагрева заготовок применяют газовые (кольцевые, карусельные, секционные и с шагающими балками) и индукционные печи [20-22]. Газовые печи с кольцевым вращающимся подом в трубном производстве получили наиболь-

шее распространение, так как обладают технологической гибкостью, приспособлены для перехода с камерного режима работы на методический, и наоборот. В печах данного типа горелки равномерно расположены по окружности печи и позволяют распределять подачу топлива в соответствии с требованиями температурного режима: при камерном режиме обеспечивают подачу топлива равномерно по всей длине окружности; при методическом режиме – неравномерно по окружности; например, 20% на методическую (подогрева) зону; 15% на сварочную (нагрева) зону; 15% на зону выдержки.

В методической печи температура изменяется следующим образом: в зоне подогрева от 800...900 до 1300°С, в зоне нагрева – от 1300 до 1350°С, в зоне выдержки – 1250°С, при этом температура металла изменяется в зоне подогрева от 20 до 790...800°С, в зоне нагрева – от 750...800 до 1200...1250°С. Рабочее пространство кольцевых печей выполнено в форме замкнутого пустотельного кольца с вращающимся подом, ограниченного наружными и внутренними стенками и подвесным сводом. Заготовки лежат неподвижно на вращающемся поду, вместе с подом они проходят все необходимые зоны нагрева и выгружаются через окно выдачи. Угол между осями окон загрузки и выдачи составляет обычно 28°. Заготовка, пройдя 332° полного оборота пода, должна нагреться до необходимой температуры (время полного оборота пода равно времени нагрева заготовки). Под печи движется толчками, причем при каждом толчке он поворачивается на угол, соответствующий расстоянию между соседними заготовками (10 или 12°). Скорость вращения пода может изменяться в зависимости от размера нагреваемой заготовки.

Наружный диаметр кольцевых печей чаще всего составляет 22...24 м, а ширина пода - 5,0...6,0 м. Заготовки в зависимости от длины могут укладываться в один или два ряда, перекрытие на заготовках допускается не более 300...400 мм. Максимальная длина заготовки примерно на 0,5 м меньше ширины пода печи.

Производительность кольцевых печей достигает 75 т/ч. Для скоростного нагрева заготовок диаметром до 200 мм в трубных цехах применяют секционные проходные печи. Печи такого типа состоят из секций, между которыми расположены водоохлаждаемые ролики, для каждого из них предусмотрен отдельный привод. Ролики установлены под углом к направлению движения, что обеспечивает направление вращаемых заготовок. Возможна транспортировка заготовок в печи в две нитки.

Нагревательная печь трубопрокатного агрегата 30-102 Первоуральского трубного завода состоит из 52 секций и камеры выдержки, не разделенной на секции. Общая длина такой печи около 90 м. Транспортирующие ролики имеют два ручья и установлены в один ряд, а в камере выдержки консольные ролики установлены в два ряда и нагретые штанги выдаются из печи поочередно с каж-

дого ряда.

Скорость перемещения штанг через секции составляет 1,6...3,0 м/мин. При выдаче штанг из печи рольганга зона выдержки включается на большую скорость (50 м/мин), создавая разрыв между выдаваемой и последующей штангами. После отрезки мерной заготовки штангу реверсированием рольганга возвращают со скоростью 10 м/мин в камеру выдержки, не допуская охлаждения штанги – заготовки.

Для нагрева заготовок, полых гильз и труб в практике трубного производства в России и за рубежом в последние годы широко применяют индукционные нагревательные печи.

Индукционные нагревательные печи состоят из нескольких последовательно расположенных индукторов, работающих на токах высокой или промышленной частоты. Широкое распространение индукционного нагрева заготовок токами промышленной частоты обусловлено почти полным отсутствием окалины, возможностью точного соблюдения температуры и длительности нагрева каждой заготовки, легкостью и быстротой изменения режима нагрева при изменении сортамента металла, отсутствием потерь мощности при вынужденных остановках, возможностью точного воспроизведения ранее зафиксированных режимов нагрева.

Средняя величина угара металла труб в нагревательных печах составляет 2,5...4,0% в методической печи для нагрева слитков, 2,5...3,0% в методической печи для нагрева заготовок, 0,5...1,0% в секционной печи для скоростного нагрева, 0,5...1,0% в кольцевой печи, 0,5...0,8% в индукционной печи.

В трубном производстве для нагрева круглых и квадратных заготовок применяются, особенно за рубежом, печи с шагающими балками. Подина таких печей образована подвижными и неподвижными балками из жаропрочной стали с зубьями или специальным профилем.

В процессе «шагания» подвижных балок заготовки (трубы) перемещаются от рольганга задачи к рольгангу выдачи. По длине печь условно делят на ряд зон, имеющих горелки, расположенные на торцевой стенке со стороны рольганга выдачи. Таким образом трубы подогревают по принципу противотока. Печи, как правило, оборудуют редукторами.

Известны конструкции печей с шагающими балками с прорезанной под ней для размещения привода шагания пода и со сплошной подиной и вынесенным механизмом шагания подачи за пределы печи. Второй тип печей характеризуется меньшими потерями тепла через подину и лучшими условиями нагрева труб.

В России в составе ТПА 140 «Синарского трубного завода» сооружена печь с шагающими балками для нагрева заготовок диаметром 90...120 мм и длиной 10 м с последующей разрезкой нагретых заготовок на заданные длины

ножницами горячей резки. Производительность этой печи составляет 73,5 т/ч.

Выбор типа печей определяется марочным составом сталей, технологией нагрева, типоразмерами трубных заготовок.

Фирма «Dalmine» (Италия) обосновала выбор кольцевой печи для нагрева заготовок необходимостью нагрева до высокой температуры с использованием заготовок разной длины (от 1,1 до 3,5 м). При этом в печи по данным фирмы обеспечивается точность нагрева $\pm 15^{\circ}\text{C}$.

По мнению специалистов фирмы «United States Steel» (США), при использовании для нагрева заготовок печей с шагающими балками при той же конечной температуре обеспечивается более равномерный нагрев по сечению. Вместе с тем для эффективного использования печей с шагающими балками необходимо использовать ограниченное количество типоразмеров длин заготовок либо применять для всего сортамента одну стандартную длину заготовки, разрезаемой после нагрева пилой горячей резки на заданные длины. В последнем случае достигается максимальная эффективность использования печей, сохраняется энергоемкость операции разрезки заготовок. Иногда же возникает необходимость в использовании заготовок немерной длины.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какое оборудование ОМД является вспомогательным?
- 2 Зачем нужны слитковозы?
- 3 Для чего служат подъемно-поворотные столы?
- 4 Какое назначение у рольгангов?
- 5 Зачем нужны транспортеры?
- 6 Для чего нужны шлепперы?
- 7 Какую роль в технологическом процессе выполняют холодильники?
- 8 Перечислите преимущества и недостатки различных типов ножниц?
- 9 Для чего применяют ножницы с параллельными ножами?
- 10 Когда используют гильотинные ножницы?
- 11 Для чего необходима правка проката?
- 12 На каком оборудовании осуществляют правку проката?
- 13 Какое оборудование применяют для удаления окалины с поверхности слэбов, блюмов, горячекатаных заготовок?
- 14 Какое оборудование для клеймения и маркировки проката Вы знаете?
- 15 Для чего применяют иглоударную маркировку?
- 16 Как удобно транспортировать тонколистовой прокат?
- 17 Зачем нужны моталки и разматыватели?
- 18 Для чего используют барабанные моталки?
- 19 С помощью какого оборудования сматывают в бунты мелкосортный прокат, катанку и проволоку?
- 20 Для чего применяют машины с абразивными дисками?
- 21 Назовите способы термообработки проката.
- 22 Перечислите известные Вам агрегаты антикоррозионного покрытия проката.

Список использованных источников

- 1 Основы металлургического производства / Под общ ред. В.М Колокольцева. - СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 616 с.
- 2 Металлургия / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников, С.В. Грачев, Е.Л. Фурман, В.Б. Ляшков. - Екатеринбург: УГТУ, 2001. – 395 с.
- 3 Технологическое оборудование прокатного производства / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Малышев. – М.: Издательство МГТУ им. Э.Н. Баумана, 2014. – 158 с.
- 4 Машиностроение. Энциклопедия. Машины и агрегаты металлургического производства. Т.IV-5 / Н.В. Пасечник, В.М. Сеницкий, В.Г. Дрозд [и др.]; под общ. ред. В.М. Сеницкого, Н.В. Пасечника. - М.: Машиностроение, 2004. – 912 с.
- 5 Машины и агрегаты металлургического производства. В 3-х томах. Т. 3: Машины и агрегаты металлургического производства / А.И. Целиков, П.И. Полухин, Б.М. Гребеник [и др.]. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
- 6 Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. - М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
- 7 Конструкция и расчет машин металлургических заводов / Н.Д. Лукашкин, Л.С. Кохан, А.М. Якушев. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с.
- 8 Целиков А.И., Зюзин В.И. Современное развитие прокатных станов. - М.: Металлургия, 1972. – 399 с.
- 9 Механическое оборудование цехов холодной прокатки / В.С. Терентьев, И.Ф. Вахрушев, А.В. Третьяков [и др.]; под ред. Г.Л. Химича. - М.: Машиностроение, 1972. – 536 с.
- 10 Дрозд В.Г., Меренков А.И. Сортвые прокатные станы. - М.: Металлургия, 1967. – 180 с.
- 11 Глазков В.С. Машины непрерывного транспортирования для прокатных станов. – М.: Металлургия, 1979. – 248 с.
- 12 Ножницы для резки листового и сортового проката / И.С. Леонов, Г.П. Фуга, Т.Л. Крылов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 375 с.
- 13 Слоним А.З., Сонин А.Л. Правка сортового и листового металла. - М.: Металлургия, 1981. – 232 с.
- 14 Слоним А.З., Сонин А.Л. Машины для правки листового и сортового материала. – М.: Машиностроение, 1975. – 208 с.
- 15 Семененко Ю.П. Машины для правки проката. - М.: Металлургиздат, 1961. – 208 с.
- 16 Мошнин Е.Н. Гибочные правильные машины. - М.: Машгиз, 1956. – 252 с.

- 17 Ротов И.С. Машины для правки труб. Конструкции, расчеты, исследования – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - 269 с.
- 18 Шаталов Р.П. Расчет, проектирование и применение прокатного оборудования. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 236 с.
- 19 Некипелов В.С. Оборудование для намотки сортового проката и кантанки. Теория и конструкция. - М.: Инфра-Инженерия, 2018. - 140 с.
- 20 Трубопрокатные станы / В.А. Вердеревский, А.З. Глейберг А.С. Никитин. - М.: Металлургия, 1983. – 240 с.
- 21 Технология и оборудование трубного производства / В.Я. Осадчий [и др.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2001. - 608 с.
- 22 Машины и агрегаты для производства стальных труб / Ю.Ф. Шевакин [и др.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2007. – 388 с.

ГАНИН ДМИТРИЙ РУДОЛЬФОВИЧ

**ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие

по дисциплине «Машины и агрегаты металлургического производства»
для студентов направления подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование,
всех форм обучения

| | | |
|---|----------------------------------|-----------------|
| Подписано в печать 17.01.2024 г. | | |
| Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 274 | Печать цифровая Тираж 50 экз. | Уч.-изд. л. 7,0 |

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nf@misis.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.