

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**

# **ОСНОВНОЕ 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, 2023

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. Основное 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», 2023. – 197 с.

Рассмотрены конструкции и приведены расчеты основного оборудования широко распространенных на производстве типов прокатных и трубных 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»*

© Новотроицкий филиал  
ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский технологический  
университет «МИСИС», 2023.

## Содержание

|  |     |
|--|-----|
| Введение .....   | 5   |
| 1 Общее назначение и классификация прокатных станов .....                          | 13  |
| 2 Конструкции рабочих клетей прокатных станов .....                                | 24  |
| 3 Конструкции станов горячей прокатки .....  | 25  |
| 4 Конструкции станов холодной прокатки .....                                       | 29  |
| 5 Контактное давление, усилие и крутящий момент при прокатке .....                 | 33  |
| 6 Конструкции валков прокатных станов .....  | 36  |
| 7 Конструкция подшипников прокатных станов .....                                   | 39  |
| 8 Конструкции механизмов установки и уравнивания валков .....                      | 41  |
| 9 Конструкции станин рабочих клетей .....  | 44  |
| 10 Конструкции и расчет механизмов уменьшения поперечной<br>разнотолщинности ..... | 46  |
| 11 Жесткость рабочей клетки и полосы .....   | 49  |
| 12 Привод валков рабочих клетей .....  | 53  |
| 13 Расчеты подшипников прокатных станов .....                                      | 62  |
| 14 Расчеты механизмов установки и уравнивания валков .....                         | 64  |
| 15 Расчет станин рабочих клетей .....  | 66  |
| 16 Расчет рабочей клетки на опрокидывание .....                                    | 71  |
| 17 Конструкции прошивных станов .....  | 73  |
| 18 Конструкции автоматических станов .....   | 80  |
| 19 Конструкции пилигримовых станов .....   | 87  |
| 20 Конструкции раскатных станов винтовой прокатки .....                            | 90  |
| 21 Конструкции редуцированных и калибровочных станов .....                         | 94  |
| 22 Конструкции станов для холодной прокатки труб .....                             | 100 |
| 23 Конструкции роликовых станов для холодной прокатки .....                        | 114 |
| 24 Конструкции машин и агрегатов для производства сварных труб .....               | 119 |
| 25 Расчеты прошивных станов .....  | 130 |
| 26 Расчеты автоматических станов .....   | 132 |
| 27 Расчеты пилигримовых станов .....   | 133 |
| 28 Расчеты редуцированных и калибровочных станов .....                             | 136 |
| 29 Расчеты станов для холодной прокатки труб .....                                 | 139 |
| 30 Расчеты роликовых станов холодной прокатки .....                                | 145 |
| 31 Расчеты машин и агрегатов для производства сварных труб .....                   | 148 |
| 32 Конструкции гидравлических прессов .....  | 157 |
| 33 Конструкции приводов гидравлических прессов .....                               | 156 |
| 34 Расчеты гидравлических прессов .....  | 161 |
| 35 Конструкции станов однократного волочения .....                                 | 163 |
| 36 Конструкции многократных волочильных станов со скольжением                      |     |

|  |     |
|--|-----|
| проволоки на промежуточных барабанах.....  | 172 |
| 37 Конструкции многократных волочильных станов без скольжения<br>проволоки на промежуточных барабанах..... | 173 |
| 38 Конструкции многократных беспетлевых станов (прямоточных).....  | 178 |
| 39 Волочильные станы с прямолинейным движением материала.....  | 181 |
| 40 Назначение и общее устройство станов прямолинейного волочения труб..                                    | 184 |
| 41 Конструкции станов бухтового волочения труб.....  | 185 |
| 42 Выбор оптимальных параметров труболовочильных станов.....   | 188 |
| 43 Расчеты рабочих линий станов прямолинейного волочения труб.....   | 192 |
| 44 Расчеты станов бухтового волочения труб.....  | 193 |
| Вопросы для самоконтроля .....   | 194 |
| Список использованных источников .....   | 196 |

## Введение

Обработка металлов давлением (ОМД) – комплекс технологий, с помощью которых получают металлические изделия заданной формы и размеров за счет пластической деформации в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил [1, 2]. При этом под пластической деформацией понимают такую, которая не исчезает после снятия вызвавшей ее нагрузки.

Существенные преимущества ОМД по сравнению с обработкой резанием – возможность значительного уменьшения отхода металла, а также повышение производительности труда, поскольку в результате однократного приложения деформирующей силы можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки. Кроме того, пластическая деформация сопровождается изменением физико-механических свойств металла заготовки, что можно использовать для получения деталей с наилучшими эксплуатационными свойствами (прочностью, жесткостью, высокой износостойкостью и т.д.) при наименьшей их массе. Эти и другие преимущества ОМД способствуют неуклонному росту ее удельного веса в металлообработке. ОМД подвергается около 90% всей выплавляемой в России стали.

Совершенствование технологических процессов ОМД и применяемого при этом оборудования позволяет расширять номенклатуру деталей, изготавливаемых обработкой давлением, и повышать точность размеров полуфабрикатов, получаемых ОМД.

В процессах ОМД пластическое деформирование осуществляют при различных схемах напряженного и деформированного состояния. Исходными заготовками могут быть слитки, сортовой и периодический профили, листы или трубы. В зависимости от вида заготовки и схемы деформирования получаемой продукции процессы ОМД принято разделять на шесть видов: *прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная и листовая штамповка.*

Изделия, выполненные ковкой, называют *поковками*, а изделия, изготовленные штамповкой – *штампованными поковками* или деталями. Поковка отличается от детали *прпуском*.

Дляковки и штамповки используют прокат разнообразных профилей. Дляковки применяют прокат лишь простейших профилей, из полученных после его разрубки заготовок изготавливают поковки небольших и средних размеров. Прокат поставляют согласно ГОСТ по габаритным размерам, профилям, точности размеров и маркам стали. Поковки изготавливают из обычной углеродистой конструкционной, инструментальной и специальных сталей различного химического состава и качества. К этим сталям относят углеродистую обычного качества (группа А, металл которой поставляется по показателям механических свойств, группа Б – по химическому анализу с нормальным и повышен-

ным содержанием марганца) и качественную конструкционную сталь. Из специальных марок сталей для изготовления поковок применяют качественные и высококачественные (у них рядом с обозначением марки ставится буква А), а также селективные, содержащие легирующие элементы в меньших пределах, чем это оговорено в соответствующих ГОСТ.

Свободную ковку, осуществляемую с применением прессы или молота, называют *машинной свободной ковкой*. *Ручную свободную ковку* применяют только для штучного изготовления мелких поковок, главным образом в ремонтных цехах и мастерских. Небольшие партии крупных (массой свыше 350 кг) и средних поковок изготавливают только методом свободной машиннойковки. Свободной машинной ковкой получают поковки крупных валов, дисков, роторов, бандажей, колец и др. При машинной ковке заготовки подают к молоту или прессу вручную или специальными машинами (кранами, манипуляторами и др.). Для облегчения труда по перемещению заготовки в процессековки применяют вспомогательный инструмент – патроны, вилки, клещи.

Кузнечные инструменты для ручных работ изменялись постепенно на протяжении по крайней мере двух тысячелетий. На рисунке 1 приведены виды кузнечных инструментов, найденных во время археологических раскопок древнерусских городов.

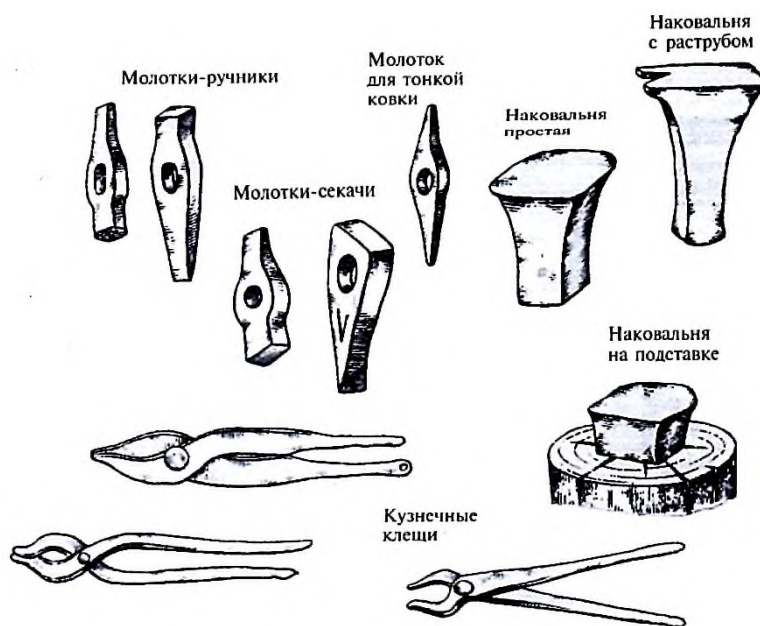


Рисунок 1 – Примеры кузнечных инструментов, найденных при археологических раскопках древнерусских городов [3]

На рисунке 2 на отдельных примерах показано как кузнечные инструменты совершенствовались в направлении более строгих геометрических форм, приспособленности к форме изделия и удобства работы [3].

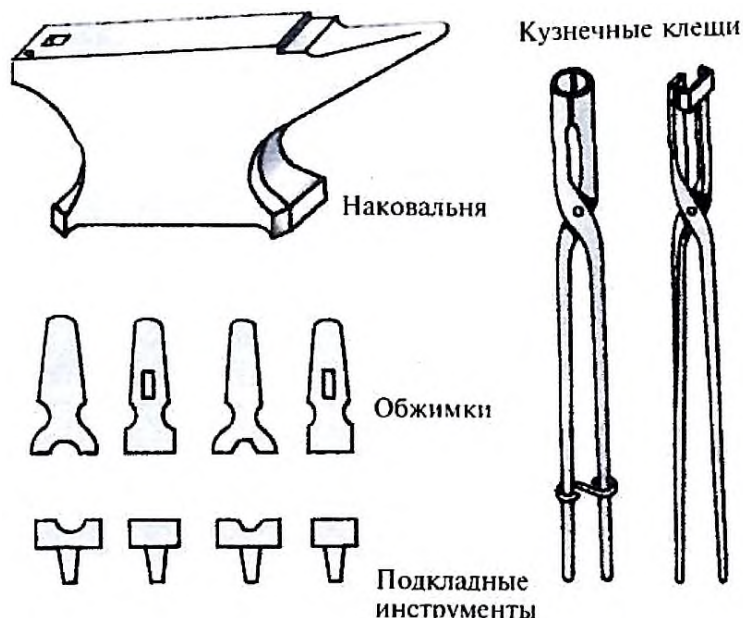


Рисунок 2 – Примеры совершенствования кузнечных инструментов [3]

Исходный материал для свободнойковки – слитки, блюмы, прокат различных размеров. Выбор заготовки осуществляют по массе, которая может быть подсчитана по формуле:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{пок}} + m_{\text{пр}} + m_{\text{дн}} + m_{\text{уг}} + m_{\text{от}},$$

где  $m_{\text{заг}}$  – масса исходной заготовки;

$m_{\text{пок}}$  – масса поковки, подсчитываемая как произведение объема поковки на плотность металла;

$m_{\text{пр}}$  – масса отхода с прибыльной частью слитка;

$m_{\text{дн}}$  – масса отхода с донной частью слитка;

$m_{\text{уг}}$  – масса отхода на угар (окалинообразование) при нагреве;

$m_{\text{от}}$  – масса технологических отходов.

Отходы с прибыльной частью составляют 14...30%, а с донной – 4...7%, на угар – в среднем 2...2,5% массы нагреваемого металла при нагреве холодной заготовки и примерно 1,5% при каждом подогреве. Технологические отходы (обрубки, выдры и т.п.) зависят от формы поковки и принятой последовательностиковки. Приковке из прокатанной заготовки  $m_{\text{пр}}$  и  $m_{\text{дн}}$  отсутствуют. Размеры поперечного сечения заготовки выбирают с учетом обеспечения необходимойуковки. Достаточнойуковкой для слитков считается 2,5...3,0, а для проката можно принимать 1,3...1,5.

Чертеж поковки составляют на основании чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков (рисунок 3).

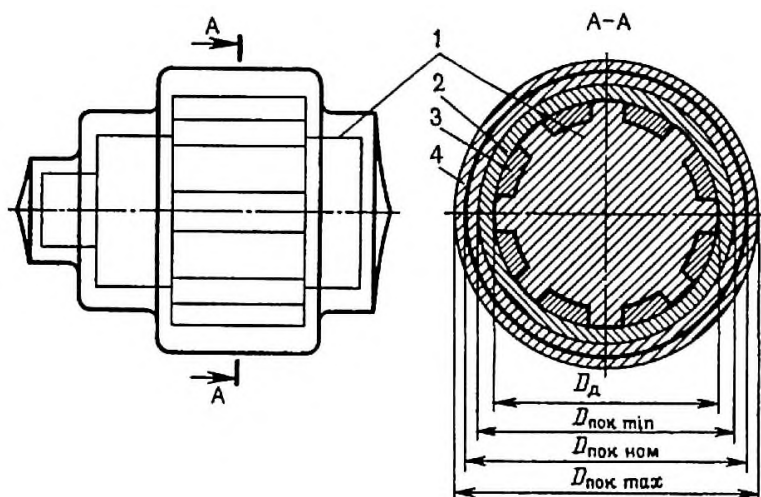


Рисунок 3 – Схема размеров поковки [3]

*Припуск 2* – поверхностный слой металла поковки, подлежащий удалению обработкой резанием для получения требуемых размеров и качества поверхностного слоя готовой детали 1. Размеры детали увеличивают на величину припусков в местах, которые подлежат обработке резанием. Припуск 2 зависит от размеров поковки, ее конфигурации, типа оборудования, применяемого для изготовления поковки, и других факторов. Чем больше размеры поковки, тем больше припуск. *Допуск 4* – допустимое отклонение от номинального размера поковки, проставленного на чертеже (разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки). Конфигурацию поковки иногда упрощают за счет *напусков 3* – объема металла, добавляемого к поковке сверх припуска для упрощения ее формы и процессаковки. Напуски 3 удаляют последующей обработкой резанием. Припуски, допуски, напуски назначают в строгом соответствии с ГОСТом.

Процессковки состоит из нагрева металла; совершения кузнечных операций (как правило на одном прессе или молоте); первичной обработки поковки (отжиг, нормализация и т.п.); контроля качества поковок. Для поковок простой формы число кузнечных операций невелико и процессковки совершается с одного нагрева заготовки (за один вынос из печи). Более сложные поковки требуют увеличенного количества операций, среди которых одноименные могут повторяться два и более раз. В случаях многократнойковки полуфабрикат поковки поступает в печь на подогрев (один или более раз, в зависимости от сложности поковки), и таким образом куют при нескольких выносах металла из печи.

Операцииковки подразделяют на предварительные, основные, вспомогательные и отделочные.

К *предварительным операциям* относятся *биллетировка* и *отрубка* (*разрубка*). Во время биллетировки слиток превращают в заготовку, сбивая с него ребра и устраняя конусность (рисунок 4).



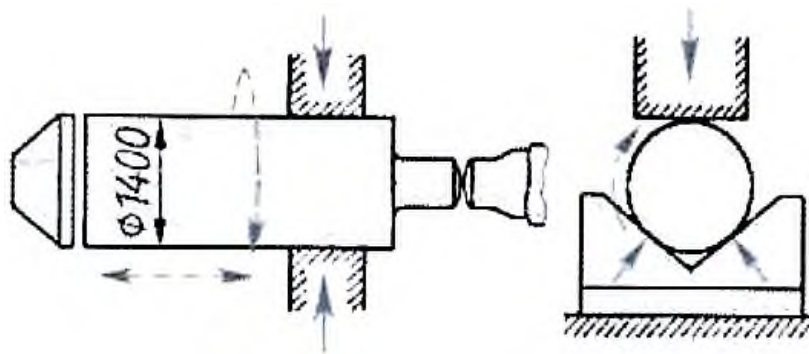


Рисунок 4 – Биллетировка (сбивка ребер и устранение конусности) [3]

При *отрубке* (*разрубке*) слиток, заготовку или поковку разделяют на части кузнечным топором (рисунок 5).

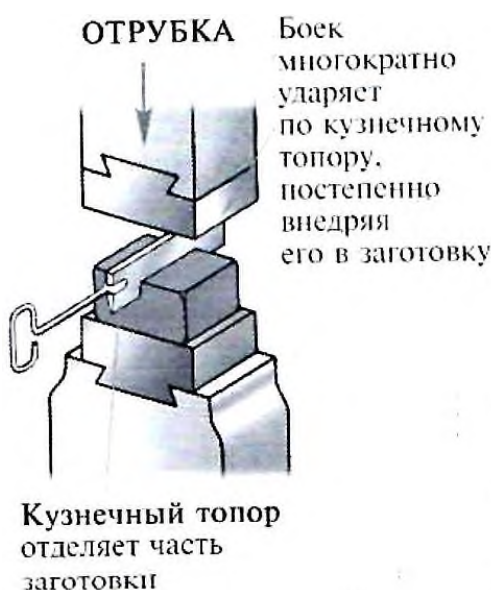


Рисунок 5 – Отрубка [3]

К основным операциям свободнойковки относятся *осадка*, *осадка в кольцах и высадка*; *протяжка*; *прошивка*, *пробивка*; *раскатка*; *протяжка на оправке*; *разгонка*; *передача*; *гибка заготовки или поковки*; *радиальное обжатие*; *раздача отверстий* (рисунок 6).

К вспомогательным операциям – *надрубка*; *сбивка углов*; *скручивание*; *сварка кузнечная*.

К отделочным операциям – *обрезка*; *правка*; *проглаживание*; *клеймение*.

При *осадке* (рисунок 6, а) площадь поперечного сечения заготовки увеличивается за счет уменьшения ее высоты. Во избежание продольного изгиба высота осаживаемой заготовки должна составлять не более 2,5 ее диаметра или толщины. Вследствие действия сил трения  $T$  по контактным поверхностям боковая поверхность заготовки приобретает бочкообразную форму.

Осаживание части заготовки называют *высадкой* (рисунок 6, б). Высадку можно осуществить при нагревании соответствующей части заготовки (конца

или середины) или ограничивая деформацию заготовки на некоторой ее части кольцевым инструментом К.

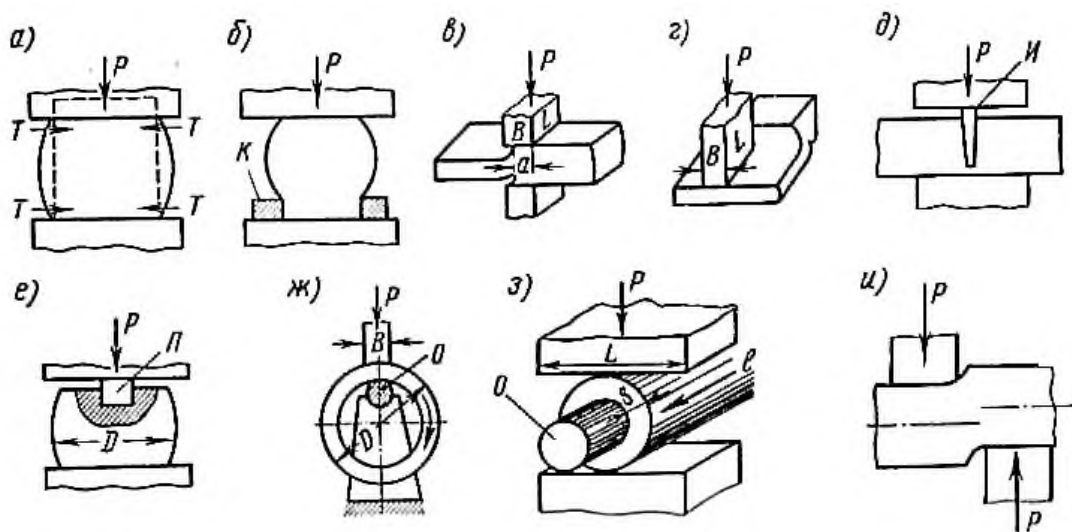


Рисунок 6 - Операции свободнойковки [4]

При *протяжке* (рисунок 6, в) длина заготовки увеличивается за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Протяжку можно вести с края заготовки и с середины. Операцию протяжки поворотом заготовки вокруг оси на  $90^\circ$  называют протяжкой с кантовкой. Для интенсификации процесса протяжки необходимо уменьшать уширение. Это достигается путем уменьшения подачи  $a$ . Практически подача  $a$  составляет  $0,4...0,75$  ширины бойка В. Коэффициент уковки при протяжке определяют отношением конечной длины поковки к исходной длине заготовки или отношением площади поперечного сечения заготовки к конечному сечению поковки. За каждое обжатие коэффициент уковки составляет примерно 1,3.

*Разгонка* металла по длине заготовки (рисунок 6, г) достигается путем обработки ее отдельных участков, при этом ось заготовки располагают перпендикулярно к ширине бойка.

Для разделения заготовки на несколько частей применяют *рубку* (рисунок 6, д) соответствующим рабочим инструментом И.

Для получения сплошных или глухих отверстий в заготовке применяют *прошивку* (рисунок 6, е) прошивнем П. Прошитые заготовки можно подвергать *раскатке* по диаметру D (рисунок 6, ж) с применением оправки О, что приводит к утонению стенки кольца и увеличению его диаметра (длинная ось бойка параллельна оси кольца); или протяжке вдоль оси (рисунок 6, з), при которой возрастает длина  $l$  кольца вследствие утонения его стенки S (длинная ось бойка перпендикулярна оси кольца).

*Передачу* металла заготовки (рисунок 6, и) с одного места на другое применяют для изготовления коленчатых валов и других поковок.

Для получения поковок с изогнутой осью применяют операцию *гибки* [5-

7].

Формы поковок, изготавливаемых ковкой, очень разнообразны (рисунок 7). Поковки можно разделить на девять групп по возрастающей сложности их изготовления. Наиболее простые – поковки постоянного профиля, получаемые прокаткой (группа I), осадкой и протяжкой поковок переменного профиля (группа II). Более сложными являются поковки с прошитым отверстием, а также в виде всесторонне прокованных кубиков, костылей, рычагов с головками и изогнутых поволок простого профиля (группа III). Еще более сложны поковки, изготавливаемые прошивкой с последующей протяжкой на оправке, валы ступенчатые, пластины с выступами и изогнутые поковки, оформляемые в подкладных штампах (группа IV). В следующую по сложности группу входят поковки, прошитые и раскатанные, валки с низкими фланцами и рычаги с двухсторонними бобышками (группа V). В остальные группы (группы VI-IX) вошли сложные рычаги, валы и другие поковки, требующие при выполнении комплекса операций формовочного инструмента и специальных приспособлений.

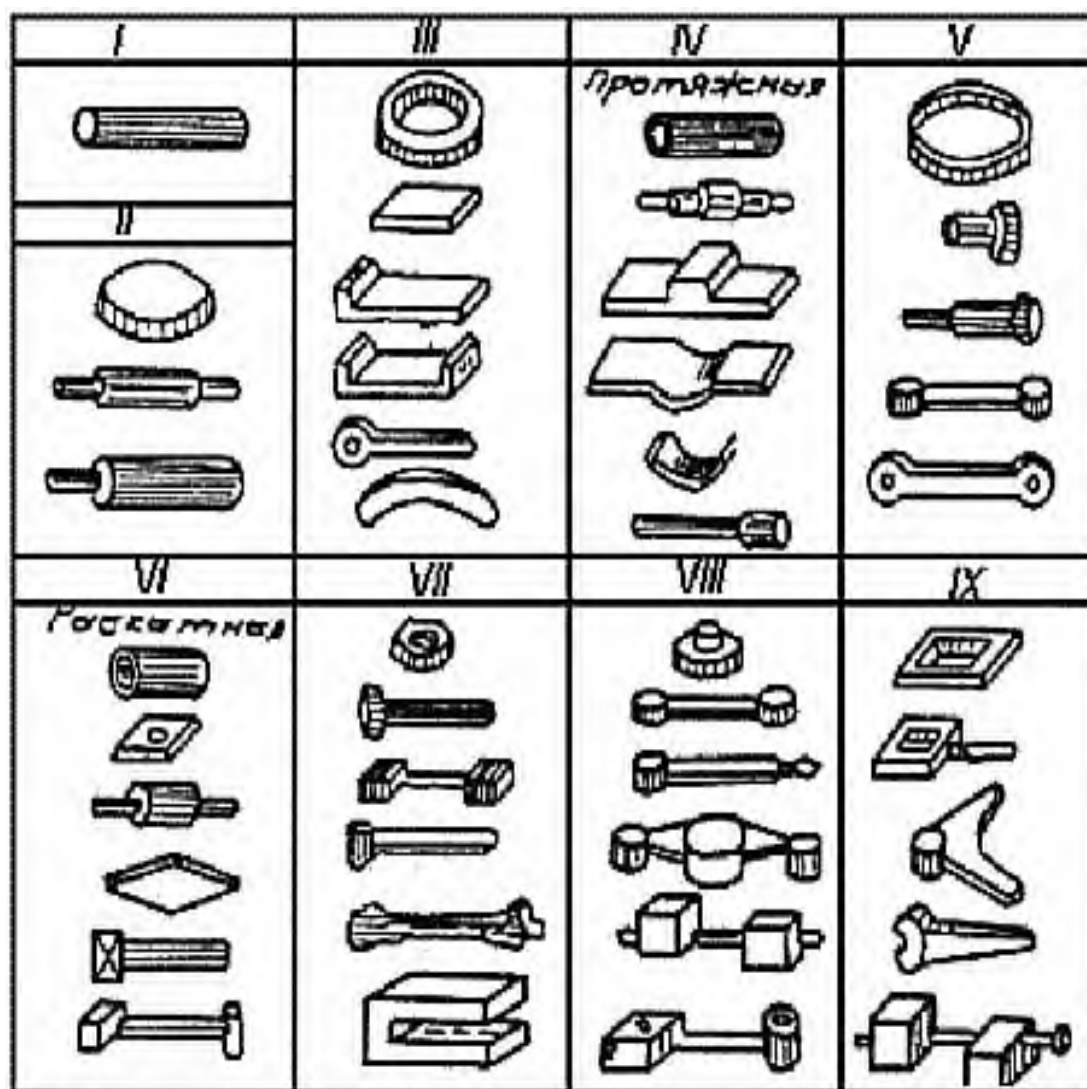


Рисунок 7 – Кованые поковки, разделенные на группы по возрастающей сложности изготовления [8]

Под *объемной штамповкой* понимают процесс, при котором металл заготовки деформируется с изменением всех размеров заготовки, принимая форму рабочей поверхности специального инструмента – *штампа*. Штамповку производят на штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, гидравлических и фрикционных прессах, горизонтально-ковочных и горизонтально-гибочных машинах; горизонтально-штамповочных автоматах; ковочных вальцах и др.

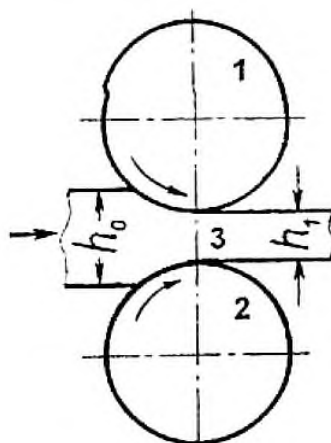
## 1 Общее назначение и классификация прокатных станов

Среди процессов ОМД наибольшее распространение получила прокатка, техническую основу которой реализуют прокатные станы. Более 80% стали и цветных металлов обрабатывается на прокатных станах и выпускается в виде готового проката: листов, сортовых профилей, труб.

Производственная единица, в которой размещается оборудование одного или нескольких прокатных станов, предназначенная для выпуска определенного вида проката называется прокатным цехом. Обычно прокатные цехи называются в зависимости от вида выпускаемой ими продукции: сортопрокатный, листопрокатный, трубопрокатный и т.д.

При прокатке исходная заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана с целью изменения ее поперечного сечения и придания сечению заданной формы. Существуют три основных способа прокатки, отличающиеся друг от друга направлением вращения валков, а также взаимным расположением их осей и обрабатываемой заготовки: продольная прокатка, винтовая прокатка, поперечная прокатка.

При *продольной прокатке* исходная заготовка толщиной  $h_0$  (рисунок 8) задается в валки цилиндрической формы с фиксированным положением осей, лежащих в одной плоскости. Валки вращаются навстречу друг другу. Заготовка, захваченная валками (благодаря наличию сил трения между поверхностями заготовки и валков), втягивается в сужающуюся щель между ними.



1 - верхний валок; 2 - нижний валок; 3 - прокатываемая полоса

Рисунок 8 – Схема процесса продольной прокатки [4]

Валки оказывают давление на металл, и в результате пластической деформации высота заготовки уменьшается до величины  $h_1$ . Происходит ее обжатие  $\Delta h = (h_0 - h_1)$ . Уменьшение высоты сопровождается увеличением длины полосы и ее ширины.

Продольной прокаткой получают длинномерные изделия с различной формой поперечного сечения – *профилем*. Листовой прокат получают в гладких

цилиндрических валках. Сортовой прокат производят в валках с кольцевыми проточками на поверхности (рисунок 9), называемыми *ручьями* 1.

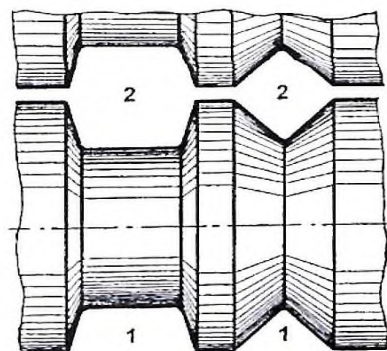


Рисунок 9 – Валки сортового стана [4]

Профиль двух сложных ручьев образует *калибр* 2. Форма калибра обеспечивает получение заданного профиля. Сортовые профили могут быть простой геометрической формы: квадрат, круг, шестигранник и др., могут быть фасонными: рельсы, швеллеры, тавровые и двутавровые балки и др. Продольной прокаткой можно получать изделия с переменным по длине сечением профиля.

С целью повышения пластичности металла и уменьшения усилия деформации прокатку производят при достаточно высоких температурах металла –  $0,8T_{пл}$  (для стали около  $1200...1250^{\circ}C$ ) – *горячей прокаткой*. Тонкие листы, трубы тонкостенные и малого диаметра изготавливают *холодной прокаткой*; при этом повышается точность размеров и улучшается качество поверхности, поскольку исключается окисление металла.

Одна из схем процесса прошивки трубной заготовки в тонкостенную гильзу на стане *винтовой прокатки* представлена на рисунке 10.

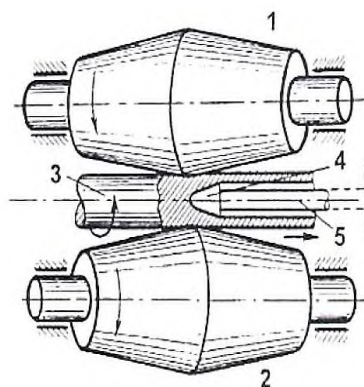


Рисунок 10 – Схема процесса винтовой прокатки [4]

Валки 1 и 2 бочкообразной формы вращаются в одном направлении. При этом их оси вращения расположены под некоторым углом друг к другу. Силы, возникающие на поверхности нагретой заготовки 3 и валков, сообщают ей поступательное и вращательное движение вокруг собственной оси. В итоге каждая точка заготовки перемещается по винтовой траектории. Заготовка надвига-

ется на оправку 4, закрепленную на стержне 5, и «прошивается». Образованию полости в заготовке способствуют растягивающие напряжения, возникающие в центральных ее слоях. Полученную толстостенную гильзу раскатывают затем в бесшовную трубу на станах как продольной, так и винтовой прокатки. Максимальный диаметр бесшовных труб составляет 700 мм. Трубы большего диаметра производят только сварными из полос и листов.

Винтовая прокатка применяется также для производства других тел вращения: шаров для шаровых мельниц и подшипников качения, роликов и др.

Один из вариантов *поперечной прокатки* показан на рисунке 11.

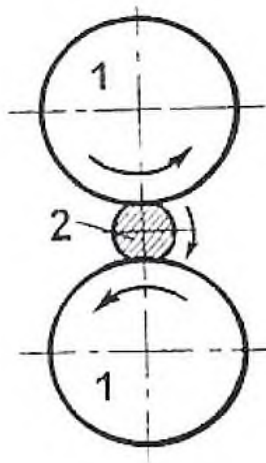


Рисунок 11 – Схема процесса поперечной прокатки [4]

Оси прокатных валков и заготовки круглого сечения параллельны. Валки вращаются в одну сторону, а заготовка – в противоположную. Этот вариант прокатки широко используют для накатки зубьев на зубчатых колесах. Для этого нагретая заготовка обжимается между валками с зубьями на поверхности. Вдавливаясь в заготовку зубья образуют в ней впадины, а вытесняемый металл, затекая во впадины на валках, формирует зубья на заготовке. Метод весьма производителен и экономичен.

Современный *прокатный стан* – это комплекс машин и механизмов, предназначенный для прокатки металла и его дальнейшей адьюстажной обработки (гомогенизация, обточка и шлифование поверхности, резка, охлаждение, правка, смотка, упаковка и т.д.).

В состав оборудования прокатного стана входят энергетические, подъемно-транспортные, информационные и технологические машины.

Различают *основное* и *вспомогательное оборудование прокатного стана* (рисунок 12).

*Основное оборудование прокатного стана* предназначено для выполнения *главной операции* – деформации металла между вращающимися валками. *Вспомогательное оборудование* составляют машины и агрегаты для выполнения таких *вспомогательных операций* как нагрев, транспортировка исходного



материала к рабочей клетки, кантовка, уборка материала после прокатки, резка на мерные длины, охлаждение, правка, скатывание в бунты или рулоны, отделка, термическая обработка, маркировка и клеймение, упаковка, подача на склад готовой продукции.

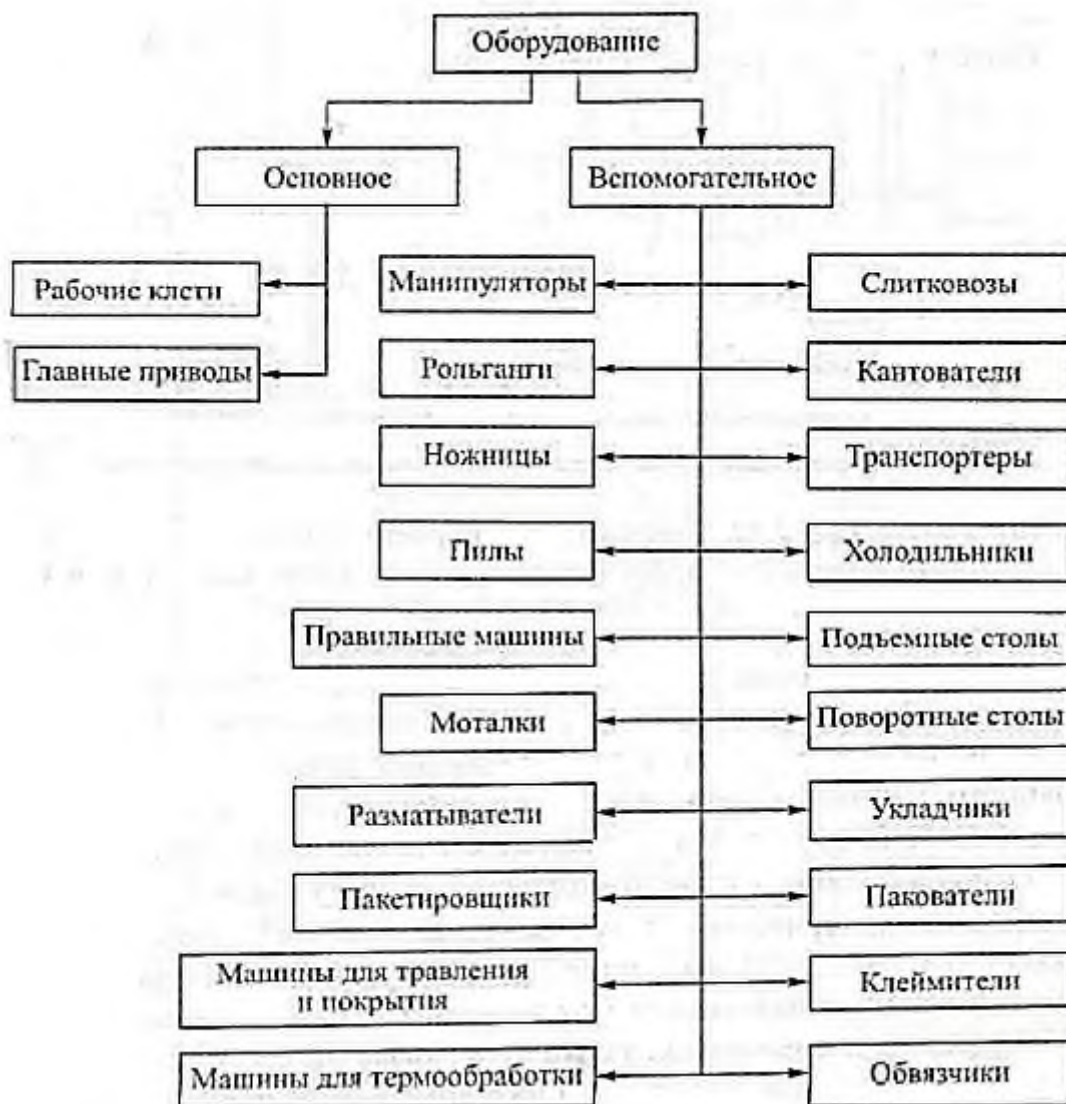
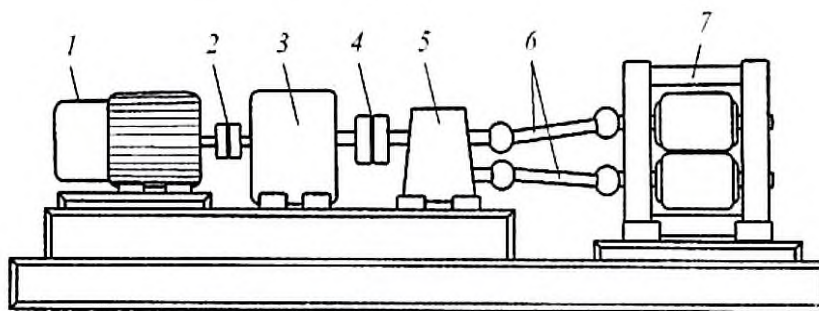


Рисунок 12 – Состав оборудования прокатного стана [7]

Линия, по которой располагают основное оборудование, называется *главной линией прокатного стана* (рисунки 13, 14). Главная линия одноклетьевого стана – одна рабочая клетка с приводом прокатных валков. Главную линию многоклетьевого стана образуют несколько рабочих клеток, которые могут располагаться в одну линию, параллельно друг другу или в шахматном порядке.





1 - электродвигатель; 2 - муфта моторная; 3 - редуктор; 4 - муфта коренная;  
5 - шестеренная клеть; 6 - шпиндель; 7 - рабочая клеть

Рисунок 13 – Одноклетьевого прокатный стан [5]

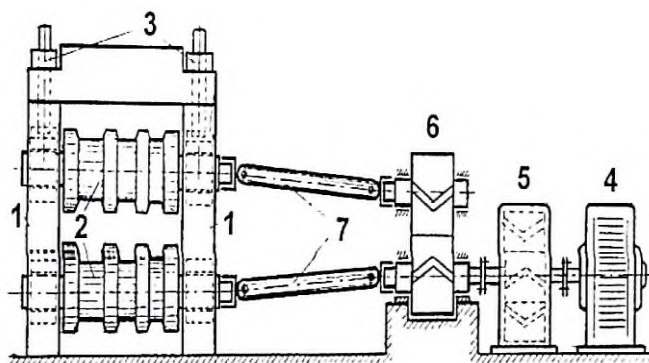


Рисунок 14 – Схема главной линии прокатного стана [4]

*Технологический процесс* – последовательность технологических операций в результате которых получается готовая продукция.

*Технологическая операция* – операция, в результате которой с металлом происходят изменения формы, размеров, температуры, структуры и т.д. Сочетание технологических операций в определенной последовательности и проведении их по требуемому режиму является технологическим процессом производства.

Исходным материалом для прокатного производства в его начальной стадии являются слитки или непрерывнолитые заготовки. В зависимости от вида полупродукта и конечной продукции строится технологический процесс обработки металла в прокатных цехах. Можно выделить две *основные схемы производства проката*: 1) с применением полупродукта, полученного на заготовочных станах (рисунок 15); 2) с применением полупродукта, полученного на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) (рисунок 16).

Существенным различием между первой и второй схемой производства проката является отсутствие в последней промежуточных технологических операций, связанных с подготовкой полупродукта. Это, в свою очередь, способствует повышению качества литой заготовки (за счет ее однородности), увеличению выхода годного, снижению капитальных затрат, энергосбережению.

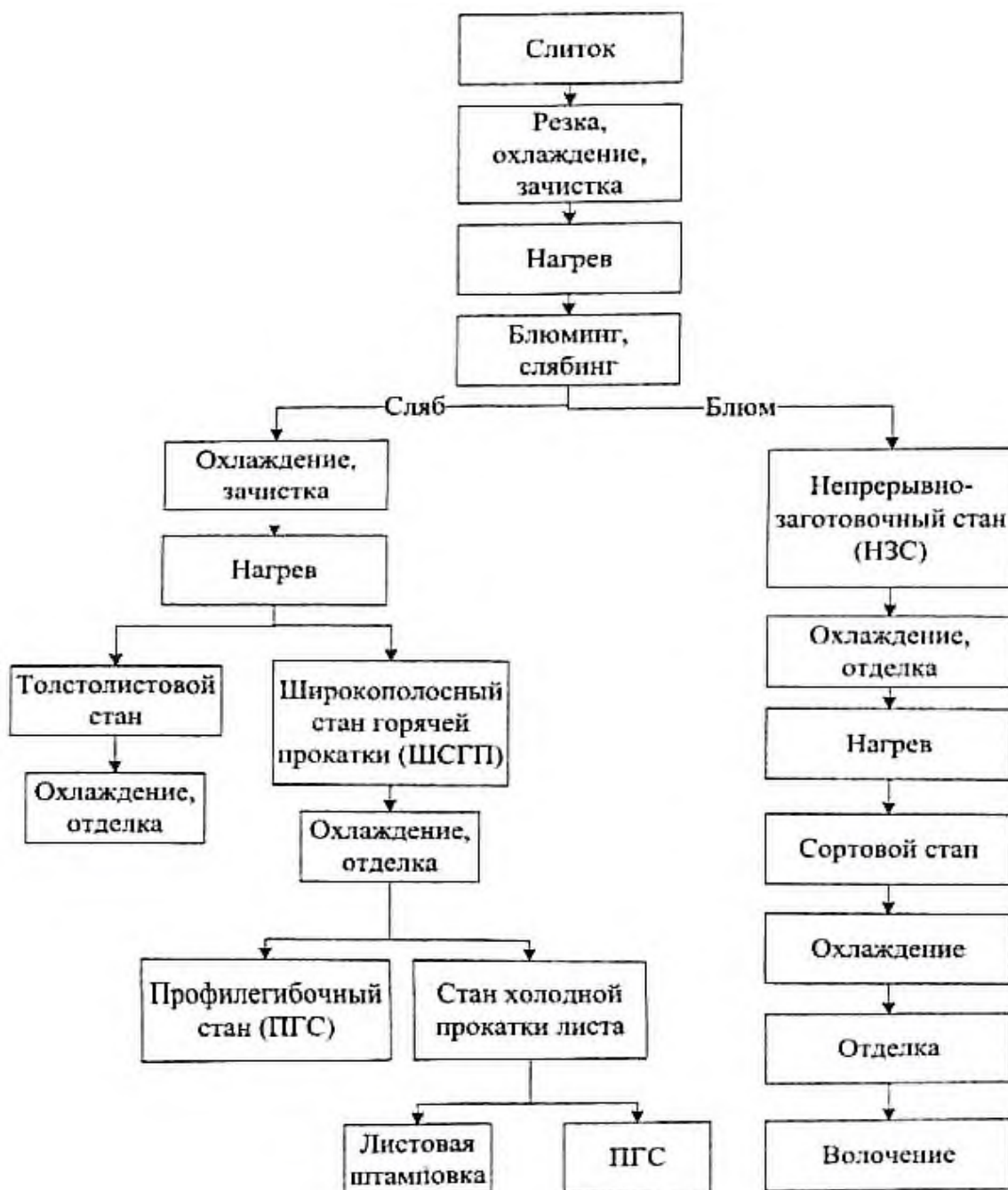


Рисунок 15 – Схема производства проката с применением полупродукта, полученного на заготовочных станах [8]

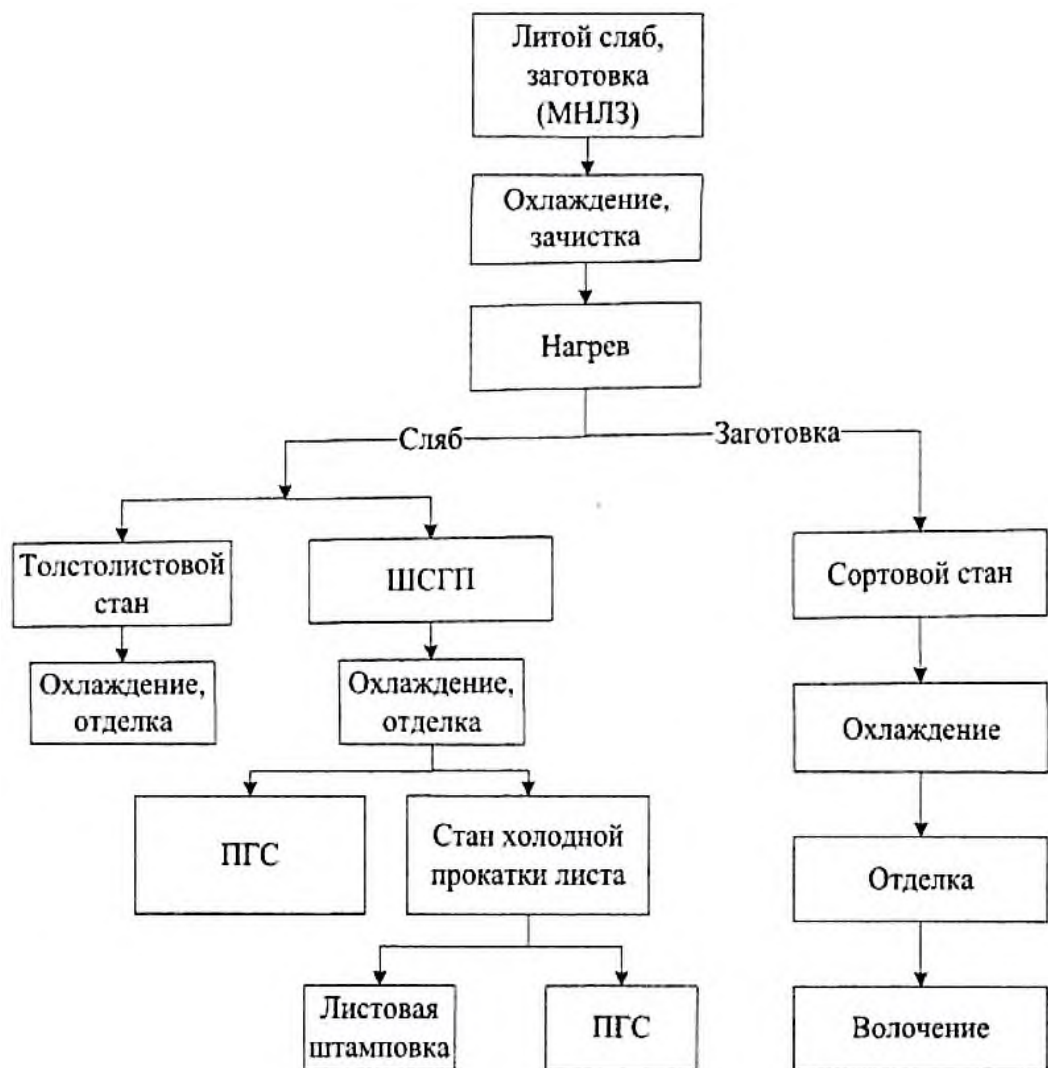


Рисунок 16 – Схема производства проката с применением полупродукта, полученного на МНЛЗ [8]

*Прокатный стан* – комплекс технологических машин, обеспечивающий получение изделий прокаткой.

Прокатные станы классифицируют:

- по назначению;
- по расположению клетей;
- по количеству валков в клети.

В свою очередь, по назначению они делятся на станы для производства полупродукта и готовой продукции. Среди первых выделяют:

1) *обжимные* – служат для прокатки крупных слитков в массивные заготовки:

- блюминги ( $d_{\text{валков}} = 900 \dots 1450$  мм);
- слябинги (1100...12000 мм);

2) *заготовочные* (450...900 мм) – из блюмов или небольших слитков прокатывают заготовки меньших размеров.

Все остальные станы служат для производства готовой продукции:

1) *сортовые*:

- рельсобалочные (750...900 мм);
- крупносортные (450...700 мм);
- среднесортные (350...500 мм);
- мелкосортные (250...370 мм);
- штрипсовые (300...400 мм);
- проволочные (150...300 мм);

2) *листовые*:

- толстолистовые (длина бочки рабочего вала  $l = 1800...5500$  мм);
- тонколистовые (900...2800 мм);
- широкополосные (1200...2800 мм);
- полосовые (до 1000 мм);
- ленточные (до 800 мм);

3) *трубные*:

- для производства бесшовных труб;
- для производства сварных труб;

4) *специального назначения*:

- колесопрокатные;
- шаропрокатные;
- бандажепрокатные и др.

По расположению клетей станы делят на:

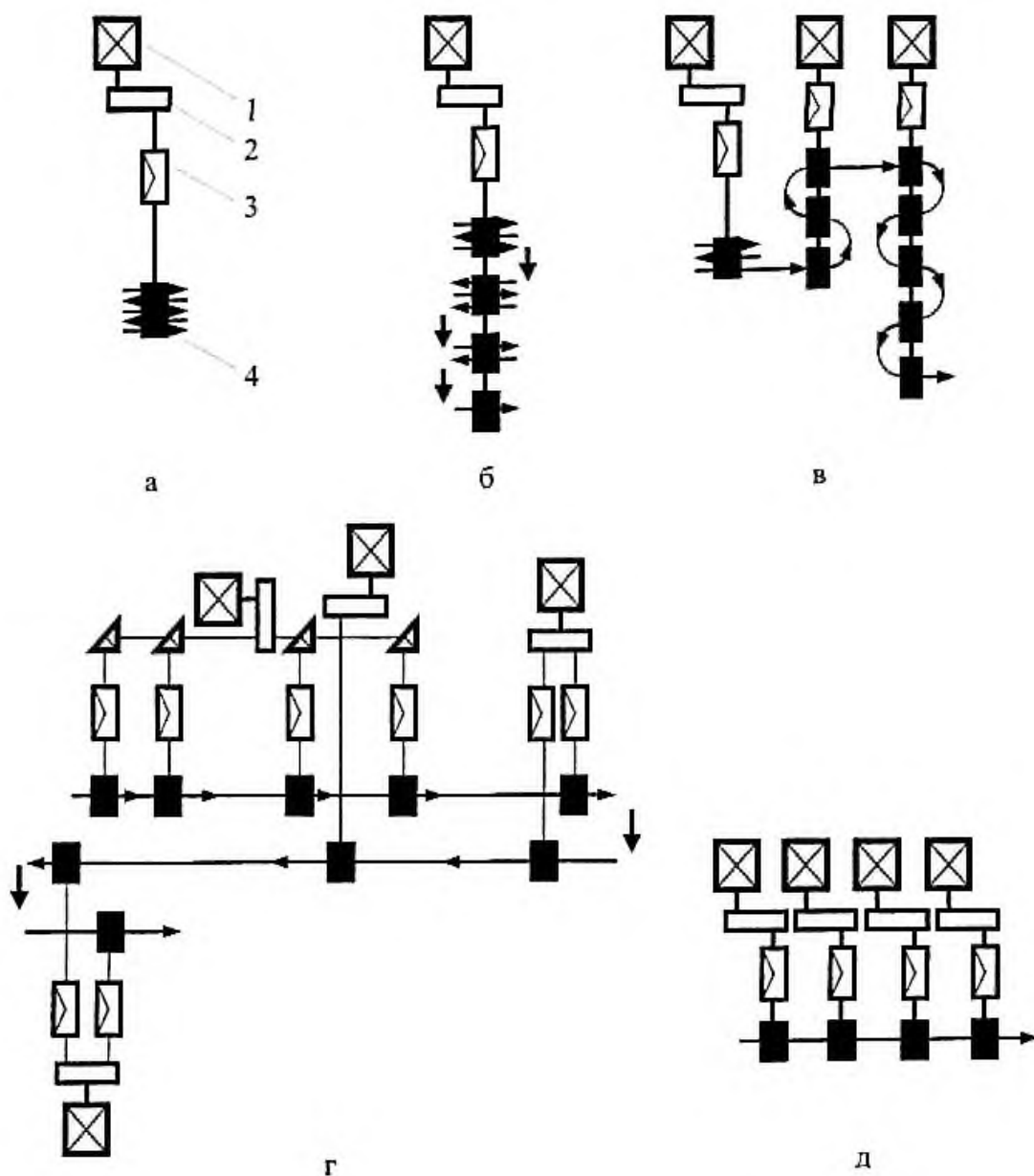
1) *одноклетевые* (рисунок 17, а) – чаще всего реверсивные, так как в одной клетке необходимо делать несколько проходов. Их недостатком является малая производительность;

2) *линейные* (рисунок 17, б, в) – рабочие клетки располагаются в одну линию с общим приводом от одного двигателя. Основным недостатком – одинаковая скорость прокатки во всех клетях, тогда как технология требует повышения скорости прокатки по мере увеличения длины раската;

3) *последовательные* (рисунок 17, г) – полоса проходит через каждую клетку только один раз, двигаясь все время вперед. Таким образом, число проходов равно числу клетей. Скорость прокатки в каждой последующей клетке возрастает. Принципиальной особенностью последовательных станов является то, что расстояние между клетями принимается больше длины раската. Таким образом, полоса сначала выходит из одной клетки, а затем поступает в следующую. Благодаря этому отпадает необходимость в строгом согласовании скоростей прокатки по клетям, облегчается настройка стана. Поскольку длина полосы по ходу прокатки растет, приходится увеличить расстояние между клетями. Если все клетки расположить в один ряд, выдерживая при этом указанный принцип прокатки, то длина стана получится слишком большой. Поэтому обычно клетки располагают в несколько рядов, для чего приходится «ломать» линию

прокатки, поворачивая ее на  $180^\circ$  в некоторых местах (что требует поперечного перемещения раскатов в этих местах). В результате стан приобретает зигзагообразную структуру.

4) *непрерывные* (рисунок 17, д) – имеют последовательное расположение клеток, расположенных так близко, что при установившемся процессе прокатки полоса одновременно проходит через все клетки. Непрерывные станы являются наиболее скоростными, автоматизированными и высокопроизводительными агрегатами. Однако успешная работа этих станов требует очень строгого согласования скоростей прокатки во всех клетях. Последнее трудно достигается при прокатке сложных фасонных профилей, поэтому непрерывные станы применяются в основном при прокатке полос, простых сортовых профилей и труб.



а - одноклетевый; б, в - линейные (одно- и трехступенчатый);  
 г - последовательный; д – непрерывный: 1 - двигатель; 2 - редуктор;  
 3 - шестеренная клеть; 4 - рабочая клеть

Рисунок 17 – Основные типы прокатных станов по расположению клеток [8]

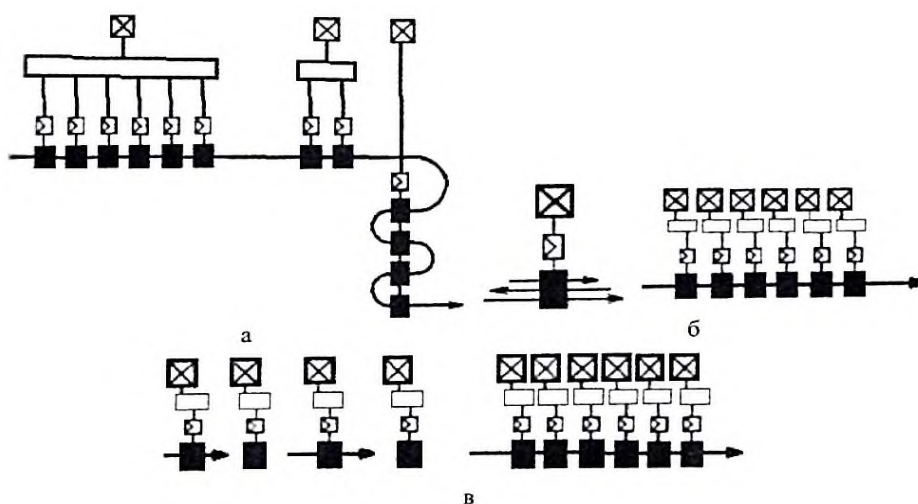
5) *комбинированные (смешанного типа)* (рисунок 18) включают непрерывную группу и какую-либо другую группу клеток (или реверсивную клеть). Такие станы называют *полунепрерывными*.

По количеству прокатных валков в рабочих клетях станы делят на (рисунок 19):

- 1) двухвалковые (дуо);
- 2) трехвалковые (трио);
- 3) четырехвалковые (кварто);
- 4) многовалковые (6-валковые, 12-валковые, 20-валковые и др.);
- 5) планетарные.

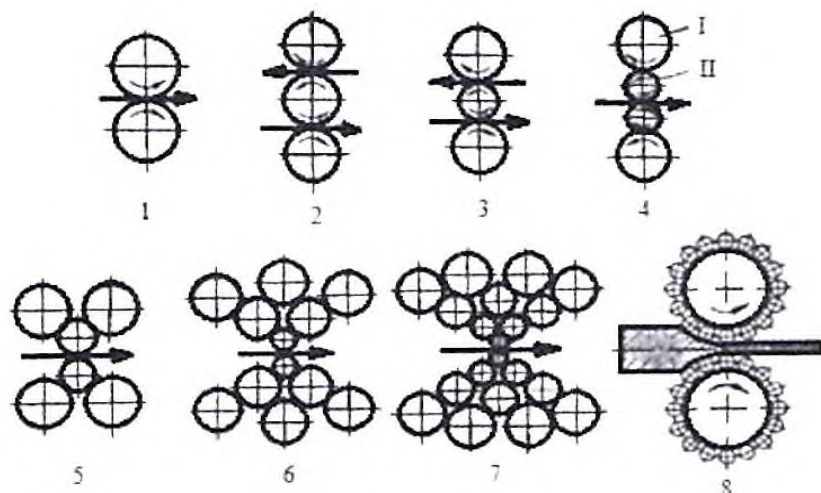
Двух-, четырех- и многовалковые клетки бывают как *реверсивные* (с переменным направлением вращения валков), так и *нереверсивные* (с постоянным направлением вращения валков). В клетях кварто и многовалковых прокатка ведется только между двумя рабочими валками, все остальные валки служат опорой для рабочих валков. Такая конструкция клеток позволяет применять рабочие валки малого диаметра, что выгодно с точки зрения снижения усилия прокатки и повышения жесткости клеток.

Для горячей прокатки тонких листов применяют планетарные станы, обжатие металла на которых осуществляется большим числом внешних (планетарных) холостых валков, вращающихся за счет трения, развиваемого от их контакта с приводными опорными валками.



а - полунепрерывный с линейной группой; б - полунепрерывный с реверсивной черновой клетью; в - последовательно-непрерывный

Рисунок 18 – Прокатные станы комбинированного (смешанного) типа [8]



1 - двухвалковая (дуо); 2 - трехвалковая (трио); 3 - трехвалковая листовая (трио Лаута); 4 - четырехвалковая (кварто); 5 - шестивалковая;  
 6 - двенадцативалковая; 7 - двадцативалковая; 8 – планетарная;  
 I – опорный валок; II – рабочий валок

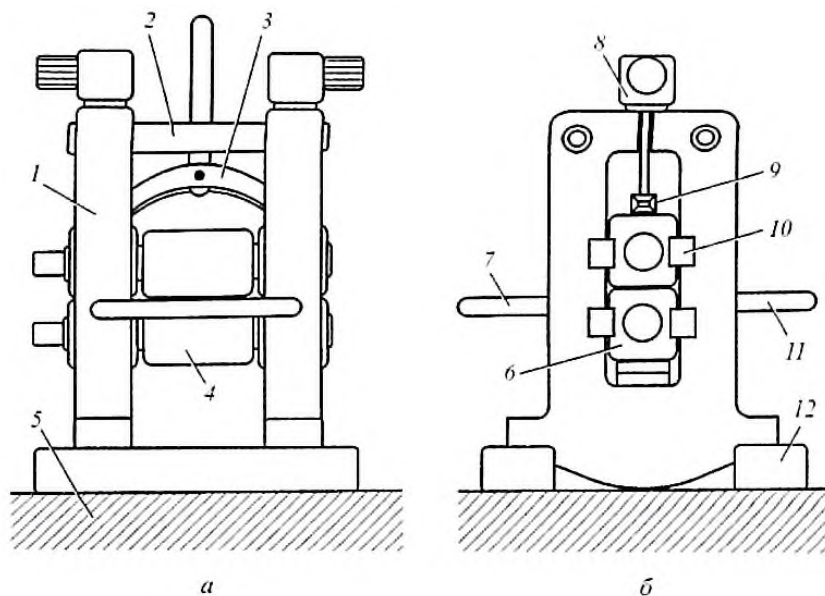
Рисунок 19 – Количество и расположение валков в рабочих клетях прокатных станков [8]

Помимо клеток с горизонтальными валками, применяются клетки с вертикальными валками, а также клетки с горизонтальными и вертикальными валками (универсальные клетки) или наклонными. Клетки с вертикальными валками используются в тех случаях, когда необходимо осуществить поперечное обжатие раската без его кантовки. При прокатке листов и полос они служат для обжатия кромок полосы с целью придания им правильной прямоугольной формы.



## 2 Конструкции рабочих клеток прокатных станов

Основное оборудование любого прокатного стана – рабочая клетка (клетки) и ее (их) привод, который называют главным. Рабочая клетка прокатного стана состоит из двух станин, сверху соединенных траверсами, внизу каждая станина своими лапами опирается на плитовины, которые крепятся к фундаменту анкерными болтами (рисунок 20).



а - вид спереди; б-вид сбоку: 1 - станина; 2 - траверса;  
3 - уравнивающее устройство; 4 - рабочий валок; 5 - фундамент;  
6 - подушка; 7, 11 - входной и выходной столы с линейками; 8 - нажимной механизм; 9 - предохранительное устройство; 10 - механизм осевой установки фиксации валков; 12 - плитовина)

Рисунок 20 – Рабочая клетка [7]

В клетке устанавливают узел рабочих валков, для регулировки взаимного положения которых применяют нажимные механизмы, уравнивающие устройства и механизмы осевой установки и фиксации. На входе и выходе из рабочей клетки к станинам крепятся столы с линейками, направляющими заготовку. Под нажимные механизмы устанавливают устройства, предохраняющие от перегрузок.



### 3 Конструкции станов горячей прокатки

В *обжимных станах* слитки нагревают в специальных колодцевых печах и затем клещевыми кранами подают на кольцевую слиткоподачу. Далее слитки попадают на приемный рольганг, оборудованный весовым устройством, и заходят в универсальную рабочую клеть слябинга 1250. При необходимости получения слябов правильной прямоугольной формы в универсальной клетке слябинга установлены вертикальные валки. У блюмингов, как правило, вертикальные валки отсутствуют. Для управления положением слитка при прокатке используют манипулятор и кантователь. После прокатки поверхность сляба зачищают машиной огневой зачистки и режут его на мерные длины на ножницах горячей резки с усилием 28 МН. Для уборки отходов имеется конвейер обреза. Там же установлены контрольные весы, клеймитель и устройство для транспортировки слябов на склад или для передачи их к непрерывному широкополосному стану 2000 горячей прокатки.

*Заготовочные станы* поставляют заготовки на сортовые, проволочные и трубопрокатные станы. Непрерывные заготовочные станы с одной группой клетей (например, стан 700) катают блюмы сечением от 140x140 до 200x200 мм или крупные заготовки размером от 125x125 до 140x140 мм. Непрерывные заготовительные станы с двумя группами клетей (например, стан 700/500) выдают из первой группы клетей блюмы сечением от 140x140 до 200x200 мм и заготовки размером от 120x120 до 140x140 мм. Из второй группы клетей получают готовую заготовку размером от 60x60 до 100x100 мм. На трубозаготовочных последовательных станах получают круглую заготовку диаметром 75...300 мм для прошивных станов.

Рассмотрим компоновку агрегатов непрерывного заготовочного стана 900/700/500, состоящего из 14 двухвалковых клетей, установленных в трех группах. Первая группа состоит из двух клетей с диаметром валков 900 мм, вторая черновая группа включает шесть клетей – 900/1300 в первой и второй клетях и 730/1300 в остальных. Чистовая третья непрерывная группа состоит из шести клетей с диаметром валков 530/900 мм. Предусмотрено чередование горизонтальных и вертикальных валков, начиная с пятой клетки.

После резки на мерные длины горячие блюмы по рольгангу поступают в первую группу, установленную отдельно от второй группы. Расстояние между первой и второй группами позволяет установить кантователь на рольганге для свободной кантовки блюмов. Вторая группа позволяет получать из 4-ой, 6-ой и 8-ой клетей заготовки с соответствующими размерами 200x200, 170x170 и 150x150 мм. Готовые заготовки отводятся поперечными транспортерами на боковой рольганг, где они ножницами с усилием 10 МН режутся на мерные длины и отправляются на холодильник. Заготовки 150x150 мм по рольгангу пере-

мещаются к чистовой группе. Здесь можно на выходе из 10-ой, 12-ой и 14-ой клетей получать заготовки сечением соответственно 120x120, 100x100, 80x80 мм. Для установления постоянной температуры у раската перед девятой клетью заготовки с помощью упоров некоторое время выдерживаются. В системе подачи установлены кантователи. Для обрезки неровных концов используют ножницы, после чего заготовки направляют на холодильник.

Основным параметром листового или полосового стана является длина бочки валков последней клетки.

Находят применение станы:

1 Широкополосные с длиной бочки валков от 1400 до 2500 мм с двумя группами клетей – с последовательной черновой и непрерывной чистовой.

2 Одно- и двухклетевые реверсивные толстолистовые станы с длиной бочки от 2000 до 5000 мм и более, иногда с установкой вертикальных валков перед горизонтальными. Кроме листов на этих станах можно выкатывать слябы.

3 Полунепрерывные широкополосные станы с длиной бочки в чистовой группе от 1200 до 3000 мм.

Оборудование непрерывного четырехвалкового стана 2800 включает нагрев литых слябов в нагревательных печах с предварительной зачисткой поверхности на фрезерных станках и последующей мойкой. Поступающая по рольгангу заготовка задается в стан 2800, состоящий из двух черновых клетей – первая четырехвалковая клеть 900/1400x2800 (рисунок 21), вторая – 750/1400x2800 и пяти чистовых клетей 650/1500x2800 (рисунок 22).

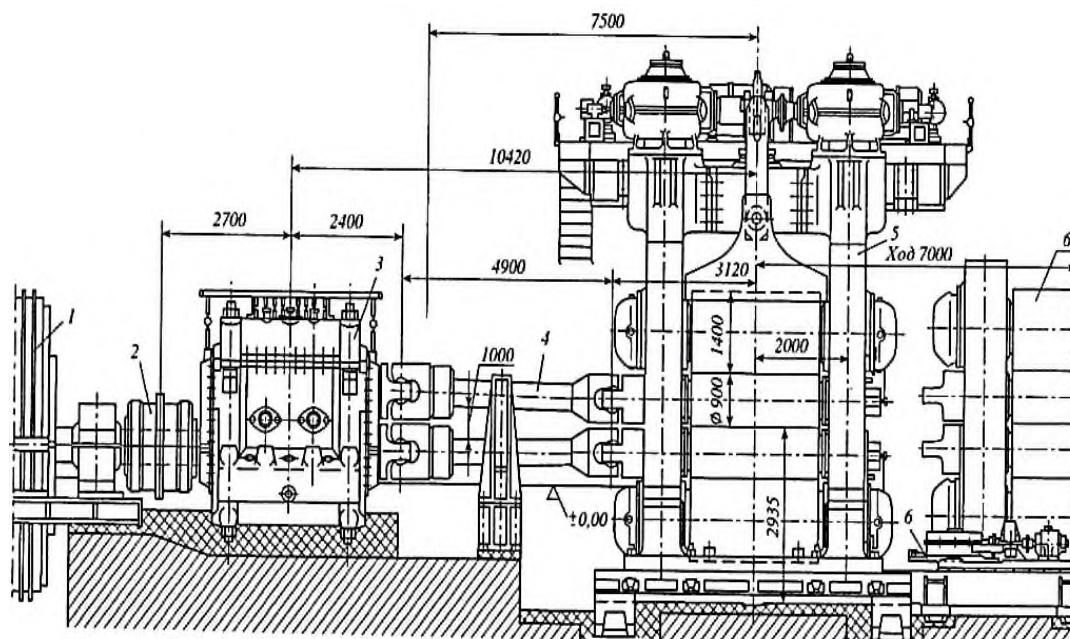


Рисунок 21 – Первая черновая реверсивная клеть 900/1400x2800 черновой группы стана 2800 [9]

Черновая клетка (рисунок 21) состоит из главного двигателя 1, зубчатой муфты 2, шестеренной клетки 3, универсального шпинделя 4 и клетки 5 с рабочими валками диаметром 900 мм, опорными 1400 мм и длиной бочки 2800 мм. Кроме того, клетка снабжена механизмом смены валков 6.

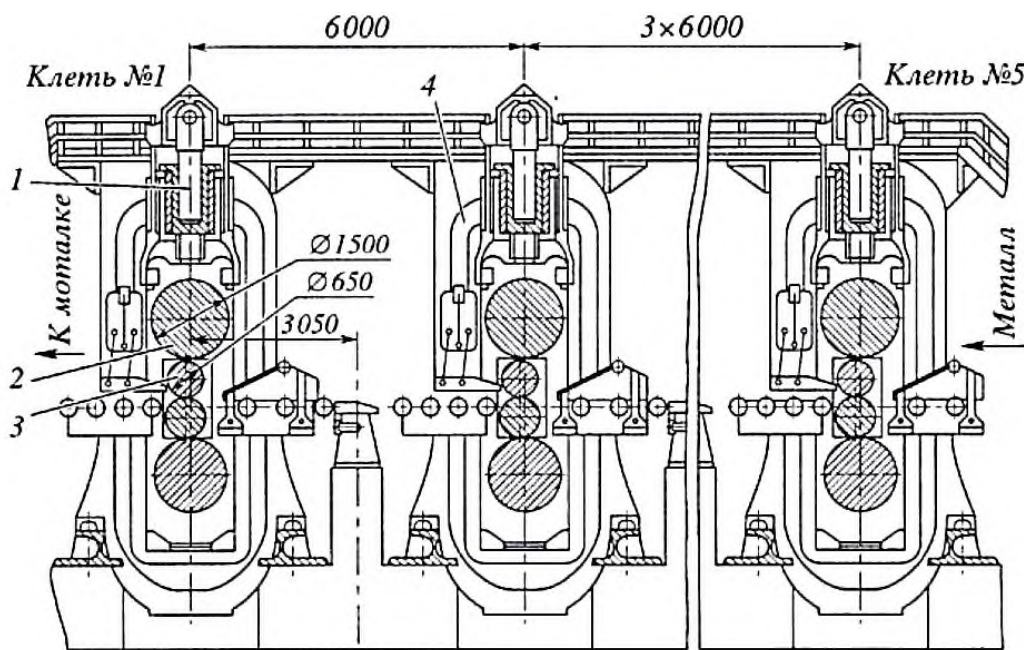


Рисунок 22 – Непрерывная чистовая группа клетей 650/1500x2800 полунепрерывного стана 2800 [9]

На рисунке 22 показаны чистовая группа клетей 4 с рабочими 3 валками 650 мм, опорными 2 – 1500 мм и длиной бочки 2800 мм, расстояния между осями клетей - 6000 мм. Для уменьшения разнотолщинности все чистовые клетки снабжены гидромеханическими устройствами противоизгиба. Рабочие валки установлены на подшипниках качения, опорные – в подшипниках жидкостного трения. Применяется гидравлическое уравнивание валков и шпинделей 1.

За последней чистовой клетью расположены дисковые ножницы с кромокрошителем для обрезки боковых кромок и две барабанные моталки с натяжением до 6 кН для смотки ленты в рулоны. Далее рулоны специальной тележкой кантуются, взвешиваются и после обвязки передаются на конвейер к термическим печам.

Широкополосный стан 2000 предназначен для прокатки полос толщиной до 16 мм и шириной до 1850 мм в рулонах с массой до 36 т из слябов толщиной от 150 мм.

В состав стана входят нагревательные печи, черновая группа клетей, промежуточный рольганг, чистовая группа клетей, отводящий рольганг, моталки и вспомогательное оборудование. Нагретые слябы после осмотра и зачистки поступают на приемный рольганг черновой группы стана. Черновая группа представляет собой двухвалковые вертикальные клетки с диаметром валков 1200 мм

и длиной бочки 650 мм и предназначена для обжатия боковых граней слябов с разрушением окалины. За ней следует двухвалковая горизонтальная клетка с валками 1400x2000 мм и затем четыре универсальные четырехвалковые клетки с горизонтальными валками 1180/1600x2000 мм. За каждый проход обжатие составляет до 60 мм. В черновую группу входят также агрегаты для гидравлического сбива окалины, рольганги, линейки, сбрасыватели раскатов в случае понижения их температуры.

Перед чистовой группой клеток расположены летучие ножницы для обрезки концов подката и двухвалковый окалиноломатель. Между чистовыми клетками располагаются петледержатели, гидросбивы окалины, линейки, проводки, моталки. После прокатки полоса поступает на рольганг, где ее снизу и сверху специальными душирующими установками охлаждают, после чего сматывают в рулоны для передачи в цех холодной прокатки или в отделение горячекатаных рулонов.

Стан 3600 предназначен для горячей прокатки листов толщиной до 50 мм, шириной до 3200 мм и длиной от 6 до 28 м из слябов и плит толщиной до 200 мм, шириной до 3200 мм и длиной до 12 м.

После нагрева слябов в методических печах или слитков в колодцах заготовки по рольгангу подаются к стану. Стан состоит из вертикальной двухвалковой клетки 900x1400 и двух реверсивных четырехвалковых клеток: черновой 1130/1800x3600-3400 и чистовой 1030/1800x3600-3400.

Сортамент сортовых станов горячей прокатки включает профили:

- круг до 350 мм, угловую сталь с шириной полки до 250 мм, швеллеры высотой до 450 мм, широкополосные балки высотой до 1100 мм, рельсы;
- проволока;
- лист, полоса.

Основным параметром сортового стана является диаметр бочки валков рабочей клетки (для многоклетевых станом – у последней клетки).

## 4 Конструкции станов холодной прокатки

Холодную прокатку полос и лент осуществляют, в основном, на следующих станах:

- многоклетьевых рулонной прокатки;
- непрерывных бесконечной прокатки;
- двухклетьевых – тандем;
- одноклетьевых рулонной прокатки реверсивных и нереверсивных;
- лентопрокатных;
- фольгопрокатных для фольги толщиной 0,001...0,1 мм.

Размеры, получаемых на этих станах, изделий сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Размеры изделий, получаемых на станах холодной прокатки [10]

| Наименование | Минимальная толщина, мм | Ширина, мм   |
|--------------|-------------------------|--------------|
| Полоса       | 0,150                   | 2000 и более |
| Жесть        | 0,060                   | До 1300      |
| Лента        | До 0,001                | 1000 и более |

Заготовками для станов холодной прокатки служат горячекатаные травленые полосы толщиной 2...6 мм при производстве конструкционной стали и 1,5...3,0 мм при производстве жести.

Определяющим конструкционным параметром полосовых станов является длина бочки валков рабочих клеток, характеризующая максимальную ширину прокатываемых полос. По этому параметру непрерывные станы подразделяют на две основные группы – с длиной бочки валков 1200...1700 и более 2000...2500 мм. К первой группе станов относится большинство непрерывных станов холодной прокатки, составляющие 65...70% всего парка станов. Наиболее распространены станы трех основных типоразмеров – с длиной бочки валков 1400, 1700, 2000 мм. Станы с длиной бочки валков 1400 мм применяют для прокатки электротехнической и конструкционной низколегированных сталей и производства жести. Станы с длиной бочки валков 1700 мм, и особенно 2000 мм, распространены больше. Для них характерны высокие производительность (1,2...3,0 млн. т/год) и качество выпускаемого листа (особенно листа для автомобильной промышленности).

Производство холоднокатаных листов подразделяют на следующие основные этапы: удаление окалины с горячекатаных полос; прокатку; отжиг холоднокатаных рулонов; дрессировку при необходимости получения требуемых свойств для глубокой вытяжки; разрезку на мерные листы в агрегатах резки.

Для повышения производительности станов концы рулонов горячекатаной заготовки непрерывно свариваются между собой, что обеспечивает непре-

рывность травления в травильных агрегатах и при последующих обработках на станах, в машинах очистки, отжига, резки и т.п. Для снятия внутренних напряжений и получения необходимой структуры после холодной прокатки применяют отжиг. Предварительно для получения качественной поверхности полосу подвергают электролитической очистке в щелочных растворах. Также применяется прокатка с небольшими обжатиями – дрессировка, повышающая уровень механических свойств и штампуемости полосы. Холодная прокатка рулонной полосы осуществляется в непрерывных трех-, четырех-, пяти- и шестиклетевых и реверсивных четырехвалковых и многовалковых станах.

На рисунке 23 показана схема непрерывного стана холодной прокатки с неменяющимся направлением прокатки.

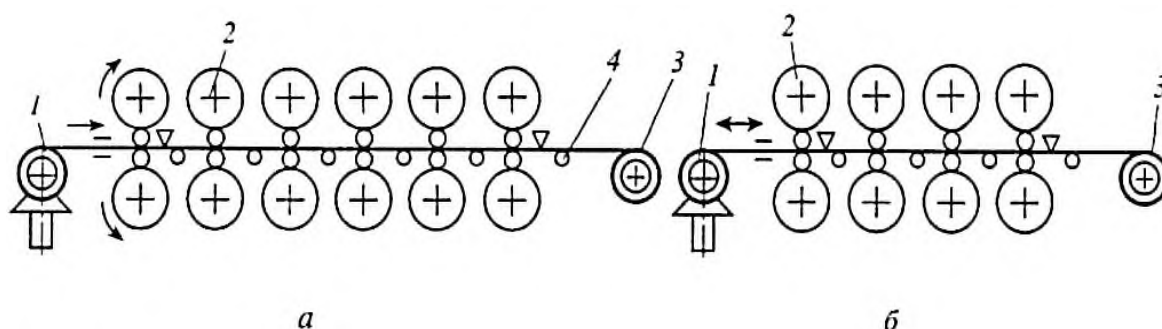


Рисунок 23 – Схемы станов холодной прокатки [10]

Лента с размоточного вала 1 проходит через несколько клетей 2 и наматывается на моталки 3. Измеритель натяжения 4 следит за натяжением полосы. В случае реверсивного стана (рисунок 23, б) направление прокатки меняется за счет изменения направления вращения размоточного вала 1, валков 2 и моталки 3. В указанных станах применен индивидуальный привод каждой клетки.

Цех холодной прокатки с реверсивным пятиклетевым четырехвалковым станом 1700 (рисунок 24) предназначен для прокатки листов и полос в рулонах толщиной 0,4...2,0 мм и шириной до 1550 мм из стали с временным сопротивлением до 650 МПа (горячекатаная полоса толщиной до 6,0 мм). К непрерывному травильному агрегату горячекатаные полосы поступают в рулонах массой до 23 т. На стане рулон цепным транспортером 1 подается на наклонный стол 2, где с помощью подъемной тележки 3 он перекачивается на подъемный стол, который перемещается вправо и устанавливает рулон по оси размоточного вала. После зажима рулона в размоточном вале его конец отгибается скребковым отгибачем 5. Минув левую моталку 6, конец рулона заводится в первую клетку 7 и после выхода из последней клетки заводится в захватное устройство моталки 6. Начинается прокатка рулона. Для дальнейшей прокатки изменяется вращение валков клетки на обратное, моталки заменяются на размоточные. После окончания прокатки готовый рулон взвешивается, маркируется и обвязывается. Затем рулон вилочным снимателем с помощью подъемника рулонов 8 передается



на склад (стеллаж) готовой продукции.

Непрерывный стан 2000 состоит из пяти клеток 630/1600x2000. Загрузочное устройство стана состоит из шагового транспортера на пять рулонов, с которого тележка подъема вертикально перемещает и подает рулон на ось разматывателя. Здесь же расположены тянуще-правильные ролики для центровки полосы и создания заднего натяжения. После зажима рулона в разматывателе конец ленты заводится в первую клетку и далее перемещается до выхода из последней клетки. Затем конец ленты зажимается в приемной моталке. Все рабочие клетки имеют одинаковую конструкцию. Рабочие валки установлены на конических четырехрядных подшипниках, опорные валки – на ПЖТ в комбинации с двухрядными коническими роликподшипниками. Диаметр нажимного винта 500 мм. Для регулирования точности толщины полосы все клетки снабжены механизмом противоизгиба. Привод клетки образуют два двигателя и редуктор.

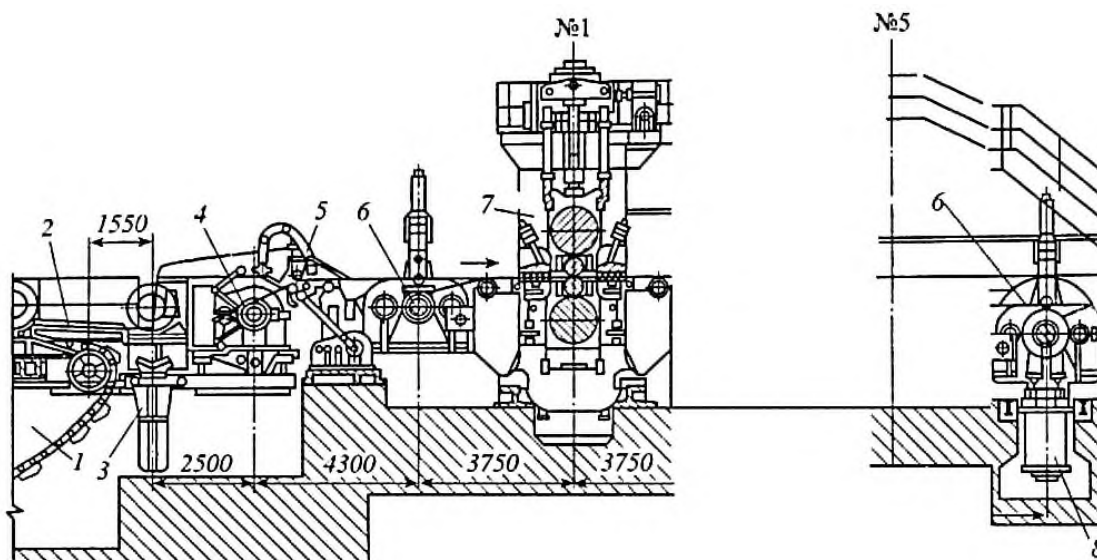


Рисунок 24 – Реверсивный четырехвалковый пятиклетевый стан 500/1300x1700 холодной прокатки [9]

Диаметр и конструкция барабана моталки зависит от толщины листа. При прокате ленты толщиной свыше 1,5 мм используется барабанная моталка с захватной щелью и зажимом конца полосы. Непрерывность процесса прокатки обеспечивает стыкосварочное устройство, осуществляющее постоянную сварку нового рулона с рулоном, находящимся в процессе прокатки. В момент сварки при неподвижных барабанах «питание» стана осуществляется выборкой полосы из петлевого аккумулятора.

Стан оборудован месдозами для измерения усилия прокатки, усилия на нажимных винтах, измерителями температуры и давления масла. Готовые рулоны обвязываются, взвешиваются, отжигаются и отправляются на склад готовой продукции, а также к правильной машине или в отделение отжига. В отделении отделки используются ножницы для обрезки боковых кромок листов.

После обрезки рулон пропускается через 13-ти или 17-ти роликовую правильную машину. Для правки могут использоваться правильные машины с растяжением. После этого листы маркируют, промасливают и транспортируют на склад готовой продукции.

При необходимости прокат поступает на агрегат термообработки, после которого идет дрессировка на двухвалковом стане 900x2800, правка на растяжной и роликовой машинах.



## 5 Контактное давление, усилие и крутящий момент при прокатке

Контактное давление при прокатке зависит от изменения касательных напряжений по дуге контакта  $r_x$  (рисунок 25).

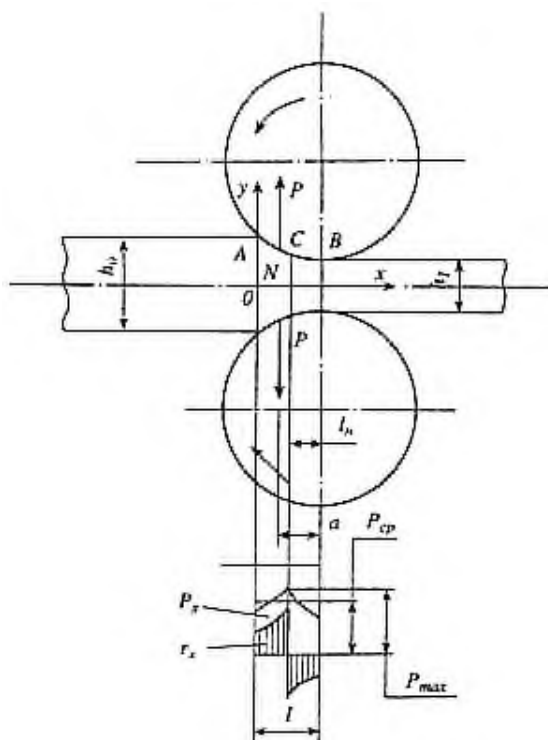


Рисунок 25 – Схема напряжений при прокатке [9]

В зоне отставания (дуга AC) скорость валков  $V_B$  опережает скорость металла  $V_M$ . В зоне опережения скорость металла  $V_M$  больше скорости валков, поэтому касательные напряжения в зоне отставания и опережения направлены в разные стороны. Создаваемое ими контактное нормальное давление будет увеличиваться от границ контактной зоны ( $P_A=P_B=\sigma_T$ ) до нейтральной зоны (точка C), в которой скорости металла и валков выравниваются. Таким образом, координата равнодействующей контактных сил (точка N) определяется из условия статики:

$$\frac{l_H}{l} = \frac{\int_0^{l-l_H} x P_x dx + \int_{l-l_M}^l x P_x dx}{l} = \frac{0,5(1 - \varepsilon)}{(1 - 0,5\varepsilon)},$$

где  $\varepsilon$  – обжатие полосы.

Существует два метода определения контактных давлений. При расчете давлений с использованием аналога осадки по методу А.А. Королева для зоны отставания давление

$$p_x = e^{m_1 \left(1 - \frac{x}{l}\right)} \sigma_T,$$

где  $\sigma_T$  – сопротивление пластической деформации;

$m_1 = 2\mu \cdot \frac{l}{h_0}$ ;  $\mu$  – коэффициент трения на контакте длиной  $l$ ;

$h_0$  – начальная толщина полосы.

В зоне опережения контактное давление

$$p_x = e^{m_2 \frac{x}{l}} \sigma_T,$$

где  $m_2 = 2\mu \cdot \frac{l}{h_1}$  – коэффициент;

$h_1 = h_0(1 - \varepsilon)$  конечная толщина полосы при обжатии  $\varepsilon$ .

Полученные результаты определяют среднее контактное давление

$$P_{cp} = \frac{\sigma_T}{m} (e^m - 1),$$

где  $m = 2\mu \cdot \frac{l}{(h_0 + h_1)} = 1,41 \cdot \mu \sqrt{\frac{D}{h_0} \cdot \varepsilon / (2 - \varepsilon)}$  – коэффициент.

При горячей прокатке сортового металла и толстых листов коэффициент контактного трения  $\mu = 0,4 \div 0,5$ , тогда из условия захвата полосы  $\Delta h/D = 0,10 \div 0,12$  коэффициент

$$m = 2,2\varepsilon / (1 - \varepsilon).$$

Для холодной прокатки коэффициент контактного трения  $\mu = 0,1 \div 0,15$  и тогда из условия захвата полосы  $\Delta h/R < \mu^2$  отношение  $D/h_0 \approx 20\varepsilon$  и коэффициент  $m = 0,76 \cdot \varepsilon / (1 - \varepsilon)$ .

Ниже приведены значения относительного среднего давления  $n_{cp,1} = P_{cp} / \sigma_T$ :

| $\varepsilon$                  | 0,1   | 0,2  | 0,3   | 0,4  | 0,5  | 0,6  |
|--------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| Холодная прокатка:             |       |      |       |      |      |      |
| $m$                            | 0,084 | 0,19 | 0,325 | 0,51 | 0,76 | 1,14 |
| $n_{cp,1} = P_{cp} / \sigma_T$ | 1,05  | 1,11 | 1,19  | 1,31 | 1,51 | 1,88 |
| Горячая прокатка:              |       |      |       |      |      |      |
| $m$                            | 0,244 | 0,55 | 0,94  | 1,47 | 2,2  | 3,34 |
| $n_{cp,1} = P_{cp} / \sigma_T$ | 1,14  | 1,34 | 1,67  | 2,30 | 3,68 | 8,03 |

Во второй методике контактные давления (способ А.И. Целикова) определяют приближенными решениями уравнений прокатки и после преобразований средние давления рассчитываются по формуле А.А. Королева:

$$n_{cp.2} = p_{cp}/\sigma_T = \frac{2}{\varepsilon \cdot \delta} \left[ \frac{1}{(1-\varepsilon)^{0,5(\delta-1)}} - (1 - 0,5\varepsilon) \right],$$

где коэффициент  $\delta = m(2-\varepsilon)/\varepsilon$ .

Расчет давлений по этой методике приведен ниже:

| $\varepsilon$      | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Холодная прокатка: |      |      |      |      |      |      |
| $\delta$           | 1,6  | 1,71 | 1,84 | 2,04 | 2,38 | 2,66 |
| $n_{cp.2}$         | 1,03 | 1,07 | 1,13 | 1,24 | 1,38 | 1,81 |
| Горячая прокатка:  |      |      |      |      |      |      |
| $\delta$           | 4,64 | 4,95 | 5,33 | 5,88 | 6,6  | 7,7  |
| $n_{cp.2}$         | 1,13 | 1,32 | 1,65 | 2,28 | 3,77 | 9,15 |

Анализ результатов расчета средних давлений по двум методикам показывает, что до обжатия  $\varepsilon \leq 0,4$  расхождение в расчетах не превышает 5%. При повышении относительного обжатия свыше 0,4 расхождение результатов возрастает, особенно при горячей прокатке.

Рекомендуют проводить расчет давления прокатки по двум методикам и брать среднеарифметическое значение  $(n_{cp.1} + n_{cp.2})/2$ .

Тогда усилие прокатки

$$P = p_{cp} \cdot l = \frac{n_{cp.1} + n_{cp.2}}{2} \cdot \sigma_T \cdot l.$$

Момент прокатки определяется из условия, что на каждом участке длины дуги контакта (опережение и отставание) касательное напряжение постоянно  $\tau_{cp} = p_{cp} \cdot \mu$ , откуда

$$M_{пр} = P \cdot l \cdot \psi,$$

где  $\psi$  – коэффициент плеча момента прокатки, который зависит от параметра  $m$ :

$$\psi = \frac{1}{2-\varepsilon} \left[ 1 - \varepsilon \left( \frac{\varepsilon^m}{\varepsilon^m - 1} - \frac{1}{m} \right) \right].$$

Ниже приведены значения  $\psi$  при холодной и горячей прокатке:

| $\varepsilon$            | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Холодная прокатка $\psi$ | 0,52 | 0,51 | 0,51 | 0,5  | 0,49 | 0,46 |
| Горячая прокатка $\psi$  | 0,5  | 0,49 | 0,49 | 0,47 | 0,45 | 0,4  |

## 6 Конструкции валков прокатных станов

Основным рабочим инструментом прокатного стана являются *валки* (рисунок 26), вращающиеся в подшипниках, установленных в рабочих клетях, и выполняющие основную операцию прокатки – пластическую деформацию металла, при которой происходит необратимое изменение размеров и формы прокатываемых изделий.

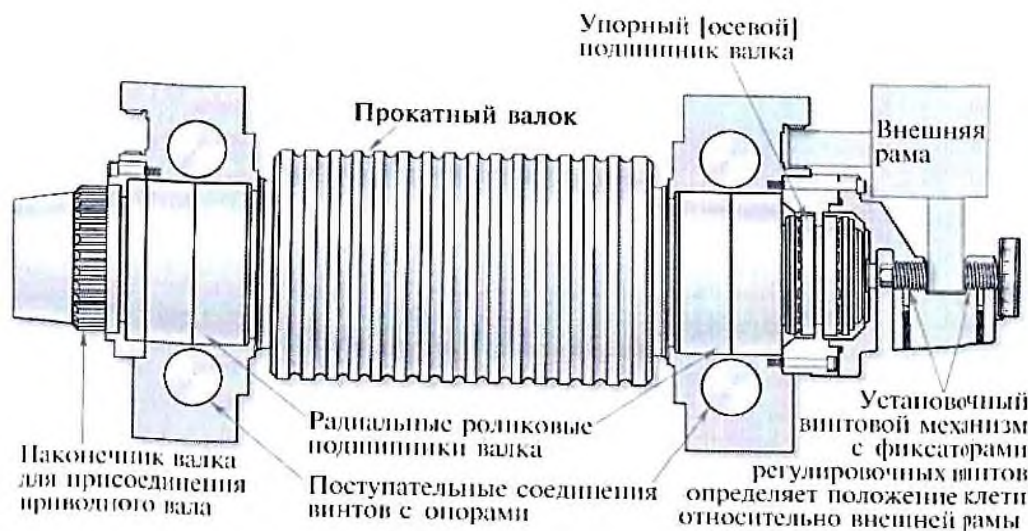
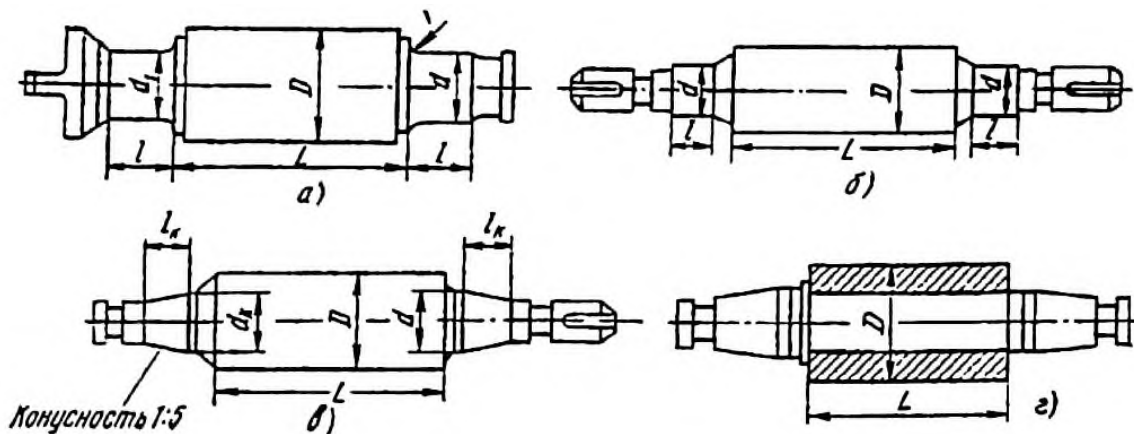


Рисунок 26 – Валок прокатного стана [3]

Валки (рисунок 27) состоят из следующих элементов: бочки диаметром  $D$  и длиной  $L$ , которая при прокатке непосредственно соприкасается с металлом; шеек диаметром  $d$  и длиной  $l$ , расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипники, приводного конца валка.



а, б - с цилиндрическими шейками соответственно для текстолитовых подшипников скольжения и качения; в - с коническими шейками для подшипников жидкостного трения; г - с бандажированной бочкой

Рисунок 27 – Валки прокатных станов [1]

Прокатные валки подразделяют на *листовые, сортовые и специальные*. Валки листовых станов используют для прокатки листов, полос и ленты.

Бочка этих валков цилиндрической формы, и часто их называют гладкими. При обточке на вальцетокарном станке поверхности бочки валка для горячей прокатки тонких листов может быть придана немного вогнутая форма, чтобы при прокатке горячего металла, когда средняя часть валков сильно разогревается, их бочка стала строго цилиндрической. Тогда толщина прокатанного листа будет одинаковой по всей его ширине. Бочку валков для холодной прокатки тонких листов наоборот делают немного выпуклой – при прокатке, вследствие большего изгиба средней части валков по сравнению с крайними его частями, образующая бочки в контакте с прокатываемым металлом станет строго цилиндрической, и, следовательно, прокатываемый лист также будет правильных геометрических размеров по всей ширине.

Валки сортовых станов служат для прокатки прямоугольных заготовок и сортового профильного металла. На поверхности бочки этих валков вытачивают углубления, соответствующие расчетному профилю прокатываемого металла. Эти углубления называют ручьями. Ручьи двух валков с зазором между ними образуют калибры, а валки называют калиброванными (ручьевыми).

Специальные валки применяют в деталепрокатных, профилегибочных и других станах.

Валки работают в условиях непрерывного истирания их металлом при прокатке, испытывая большие напряжения при динамических нагрузках и иногда при высокой и резко изменяющейся температуре. Поэтому к качеству валков предъявляются очень высокие требования, так как оно определяет нормальную работу стана, его производительность и качество готового проката.

Для обжимных станов – блюмингов и слябингов, работающих при больших давлениях и высокой температуре, применяют стальные кованные (реже литые) валки из углеродистой и низколегированной стали марок 40Х, 50ХН, 60ХН, обладающие большой вязкостью и высоким сопротивлением изгибающим напряжениям, возникающим при прокатке.

Для непрерывных заготовочных станов применяют стальные валки (в первых клетях, работающих при больших давлениях и больших углах захвата) и валки, изготовленные из чугуна, легированного хромом, никелем и молибденом (до 0,5% каждого элемента) для последних клетей.

На рельсобалочных и сортовых станах применяют валки, изготовленные из твердого легированного чугуна, отливаемые в металлические формы (твердость 50...75 ед. по Шору); такие валки с отбеленным (состоящим из  $Fe_3C$ ) слоем хорошо сопротивляются износу и обеспечивают получение готовых профилей с хорошей поверхностью после горячей прокатки. Чугунные валки хуже захватывают металл, чем стальные (так как коэффициент контактного трения меньше ввиду наличия свободного графита в структуре чугуна), поэтому их нельзя применять тогда, когда при прокатке требуются большие обжатия и

большие углы захвата (в черновых клетях).

При прокатке на сортовых станах профилей из твердых сталей применяют валки из углеродистой стали с повышенным содержанием хрома и марганца (50X, 60XГ).

Для толстолистовых станов горячей прокатки применяют валки из отбеленного чугуна и из стали марок 50X и 50XН.

Для четырехвалковых станов холодной прокатки применяют стальные кованные валки с высокой поверхностной твердостью (рабочие валки – до 100 ед. по Шору, опорные валки 70...80 ед. по Шору) и высокой прочностью (до 800...900 Н/мм<sup>2</sup> или 80...90 кг/мм<sup>2</sup>). Валки диаметром до 300 мм изготавливают из легированной хромистой и хромованадиевой стали 9X и 9XФ, а диаметром более 300 мм – из стали с повышенным содержанием хрома (9X2), хромомолибденовой (9X2МФ, 65XНМ, 75XМ) и хромовольфрамовой (9X2В). Валки подвергают термической обработке (закалка, отпуск) по специальным режимам (в зависимости от марки стали и размеров валков).

Большие опорные валки целесообразно изготавливать составными – бандажированными; материал оси – сталь марок 55X, 60XН, 45XНМ, хорошо сопротивляющаяся изгибу; материал бандажа – сталь марок 9X2, 90XФ, обладающая высокой твердостью и износостойкостью после термообработки. На зарубежных заводах (США, Великобритания) применяют литые опорные валки из сталей марок CrNiMo, CrMnMo, которые дешевле кованных.

Рабочие валки небольших многовалковых (20-валковых) станов для холодной прокатки тонкой (до 0,05 мм) и узкой (до 100 мм) ленты из высокопрочной стали изготавливают из твердых сплавов (типа карбида вольфрама). Износостойкость таких валков в 30...50 раз выше, чем обычных валков из легированной стали. При прокатке такими валками можно получить наивысший (14-й) класс чистоты поверхности.

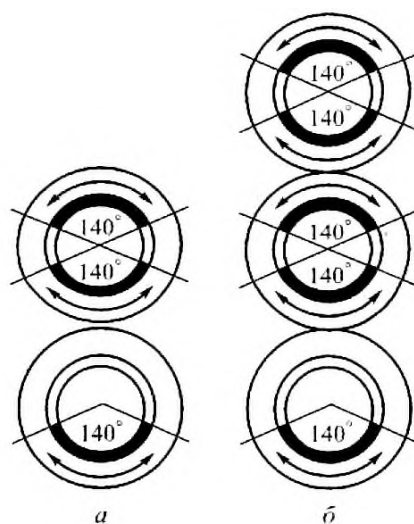
## 7 Конструкция подшипников прокатных станов

Подшипники опор валков прокатных станов передают усилия, возникающие при деформации металла, от валков на станину и другие узлы рабочей клетки и удерживают валки в заданном положении. Основными особенностями работы этих подшипников являются высокие удельные радиальные и осевые нагрузки (в несколько раз превышающие нагрузки подшипников общего назначения), а также высокая частота вращения при практически непрерывной работе. Высокие удельные нагрузки обусловлены конструктивными ограничениями габаритных размеров подшипников и значительным уровнем напряжений в шейке при небольшой ее длине.

Для прокатных валков применяют подшипники следующих типов: открытые подшипники скольжения с неметаллическими вкладышами, закрытые подшипники скольжения с неметаллическими вкладышами, закрытые подшипники жидкостного трения (ПЖТ), подшипники качения.

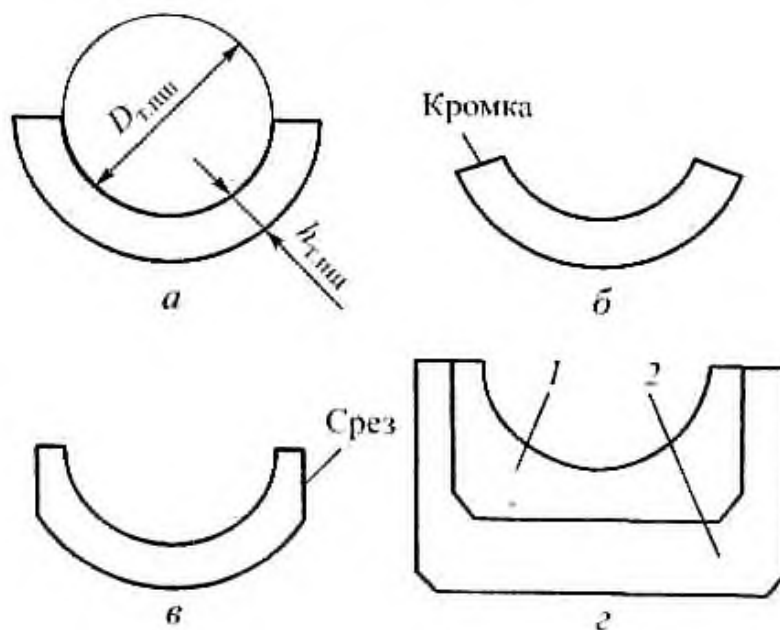
Выбор подшипников того или иного вида зависит от конструкции клетки, усилий прокатки, требуемой точности размеров проката и ряда экономических факторов.

Рабочей частью подшипников скольжения открытого типа являются вкладыши, выбор материала которых зависит от конструктивных особенностей стана и нагрузки на подшипник. Для изготовления неметаллических вкладышей подшипников используют текстолит, лигнофоль или лигностон (рисунки 28, 29).



а - клетки дуо; б - клетки трио

Рисунок 28 – Расположение текстолитовых вкладышей в подшипниках [7]



а - с прямыми кромками ( $d_{т.мм} = 210...750$  мм,  $h_{т.мм} = 25...290$  мм);

б - со скошенными кромками; в - со срезанными углами;

г - вместе с фланцем: 1-вкладыш; 2-фланец

Рисунок 29 – Текстолитовые вкладыши [7]

Подшипники качения могут быть шариковыми, роликовыми или игольчатыми. В качестве валковых опор часто применяются двухрядные сферические подшипники качения и четырехрядные роликоподшипники. Для восприятия осевых нагрузок на одном или двух концах вала устанавливают радиально-упорные подшипники качения.

Подшипники скольжения открытого типа выполняют в виде наборных вкладышей или цельноштампованных. Подшипники скольжения с неметаллическими вкладышами охлаждают водой. Коэффициент трения текстолитовых подшипников равен 0,003-0,006.

Недостатки подшипников скольжения с неметаллическими вкладышами: их высокая упругая деформация и низкие допустимые удельные давления. Поэтому их применяют в станах с небольшими усилиями прокатки и невысокой точностью прокатываемых профилей.



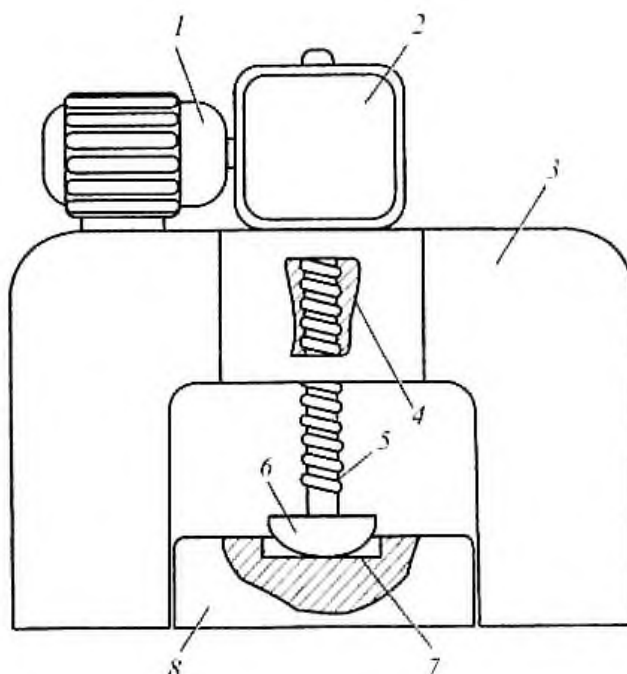
## 8 Конструкции механизмов установки и уравнивания валков

Чтобы процесс прокатки протекал нормально, валки должны занимать в рабочей клетки определенное положение. Для этого в каждой рабочей клетки предусмотрены следующие механизмы и устройства:

- вертикальной установки валков (нажимные механизмы);
- осевой установки валков;
- уравнивания верхнего валка.

Нажимные механизмы с приводом от электродвигателя через глобоидные червячные передачи применяют на станах, где скорость перемещения валков из-за необходимости точности регулировки толщины проката невелика.

Основные элементы нажимного механизма - нажимные винты и гайки (рисунок 30).



- 1 - электродвигатель; 2 - редуктор; 3 - станина; 4 - нажимная гайка;  
5 - нажимной винт; 6 - сферическая пята; 7 - подпятник; 8 - верхняя подушка

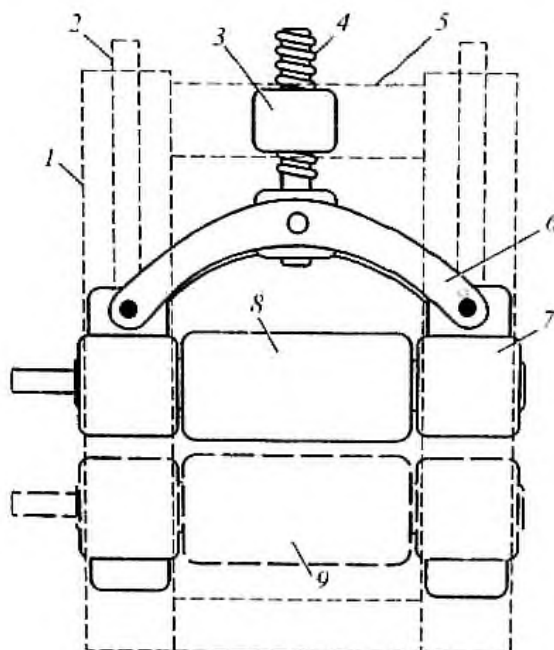
Рисунок 30 – Нажимной механизм [7]

Нажимные винты воспринимают силу прокатки, приходящуюся на рабочий валок, и передают ее через нажимные гайки станинам.

Нажимные гайки (наиболее изнашивающиеся детали нажимного механизма) изготавливают из литой бронзы. Для экономии бронзы гайки выполняют составными: наружные бандажы делают из высокопрочного чугуна, модуль упругости которого близок к модулю упругости бронзы.

Резьбу нажимных винтов подвергают поверхностной закалке и шлифуют. Шаг резьбы нажимных винтов вдвое меньше шага резьбы дистанционных винтов и направление нарезки на винтах противоположное.

Между сферической пятой и подпятником, а также в резьбовом соединении нажимного винта и гайки обязательно образуются зазоры, для исключения которых предусмотрено уравнивающее устройство (рисунок 31).



- 1 - стойка станины; 2 - нажимной винт; 3 - гайка; 4 - винт; 5 - траверса;  
 6 - коромысло; 7 - подушка; 8 - верхний регулируемый рабочий валок;  
 9 - нижний неподвижный рабочий валок

Рисунок 31 – Уравнивающее устройство [7]

С помощью этого устройства верхний рабочий валок удерживается в подвешенном состоянии над нижним валком, и подушки верхнего валка всегда плотно прижаты к торцам нажимных валков. Гайка уравнивающего устройства вмонтирована в траверсу, соединяющую левую и правую половины станины.

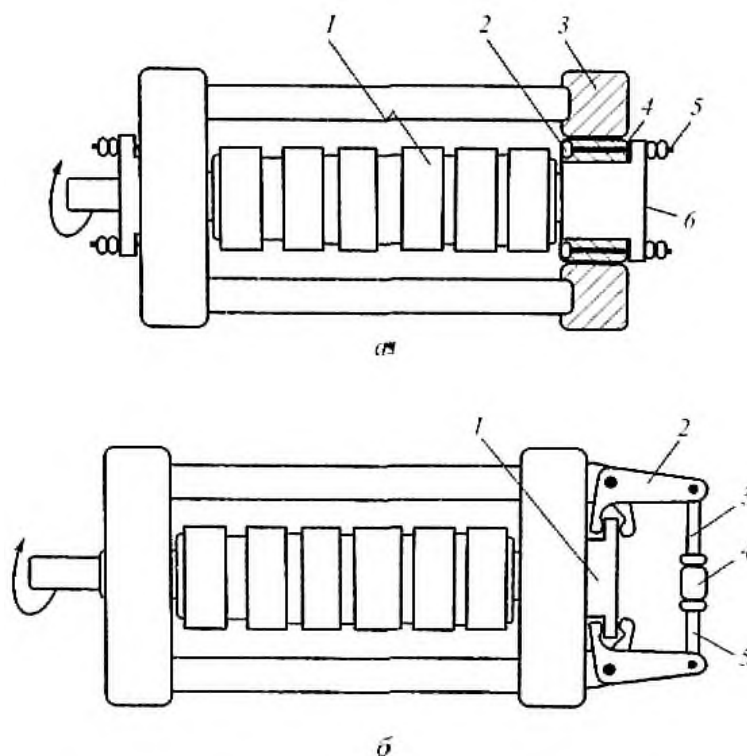
Для уравнивания верхнего валка применяют также грузовые, гидравлические и пружинные устройства, причем последние используют в том случае, когда перемещение валка невелико.

*Механизмы осевой установки* служат для перемещения калиброванных рабочих валков в горизонтальной плоскости с целью выравнивания калибров. Обычно в осевой регулировке валков с гладкой бочкой нет надобности.

Механизмы осевой установки бывают одно- и двусторонними, прижимными и рычажными (рисунок 32).

Двусторонние прижимные механизмы применяют для установки валков с текстолитовыми подшипниками. Как правило, подшипниковые опоры фиксируются со стороны перевалки валков, а опоры со стороны привода выполняются «плавающими» с учетом температурных деформаций. Такие механизмы обеспечивают прижатие подушек друг к другу через валок, что достигается с

помощью болтов, прижимающих подушки с внешней стороны через фланцы или откидные планки. Общие недостатки прижимных двусторонних механизмов – наличие большого числа болтов, необходимость обслуживания клетки с обеих сторон, малая жесткость, отсутствие самоустановки подушек.



- а - двусторонний прижимной: 1 - рабочий валок; 2 - головка болта; 3 - стойка станины; 4 - подушка; 5 - гайка; 6 - фланец с текстолитовым подшипником;  
 б - односторонний рычажный: 1 - подушка с заплечиками; 2 - рычаг;  
 3, 5 - тяга; 4 - гайка

Рисунок 32 – Механизмы осевой установки валков (вид сверху) [7]

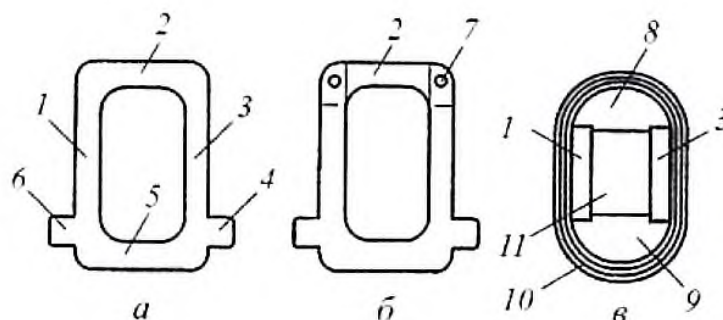
Поэтому наибольшее распространение получили односторонние рычажные механизмы, которые обеспечивают фиксацию и осевую установку валка через подушку с одной стороны для горизонтальных клетей и сверху - для вертикальных клетей. Такие механизмы применяют в случае установки валков на подшипниках качения или ПЖТ, когда валок зафиксирован на подушке с неприводной стороны в обоих направлениях.

Подушка с фланцами, установленная в направляющих пазах станины клетки, фиксируется рычагами через шарнир относительно станины. Положение рычагов регулируют соединительными тягами, одна из которых работает на растяжение, а другая – на сжатие. На фланцах подушки на уровне оси валка имеются сферические элементы, предназначенные для создания более благоприятных условий ее самоустановки. В последнем случае рычаги выносят выше или ниже уровня валков. Осевые силы при прокатке передаются на станину упорными подшипниками, установленными в регулируемой подушке с фланцами.

## 9 Конструкции станин рабочих клеток

Станины соединяют в единое целое отдельные устройства и механизмы рабочей клетки прокатного стана. В середине станины предусмотрено окно для установки подушек валков. Внизу станина имеет приливы (лапы) с отверстиями под болты для крепления к плитовинам.

Различают станины закрытого и открытого типов, а также составные (рисунок 33).



а - закрытая; б - открытая; в – составная: 1, 3 - правая и левая стойки; 2, 5 - верхняя и нижняя поперечины; 4, 6 - лапы; 7 - соединительный элемент (палец); 8, 9 - ригели; 10 - пакет металлической ленты; 11 - окно

Рисунок 33 – Типы станин [7]

*Закрытая станина* представляет собой сплошную раму, а *открытая* имеет съемную верхнюю поперечину, крепящуюся клиньями, пальцами, с помощью цапф. При одинаковых размерах закрытые станины имеют более высокую жесткость, чем открытые. Основной их недостаток - более трудоемкая смена валков с подушками, осуществляемая с боковой стороны. Кроме того, при наличии валков с буртами, необходимыми для прокатки фасонных профилей, требуется увеличение проема станины, что повышает габаритные размеры и массу клетей и снижает их жесткость. Открытые станины обеспечивают более удобную замену валков (перевалку), не требуют увеличения проема для валков с буртами, но обладают меньшей жесткостью. Закрытые станины применяют в непрерывных и последовательных сортовых станах для прокатки простых профилей. В остальных случаях предпочтение отдают открытым станинам.

*Составные станины* выполняют по-разному, но наиболее перспективны составные станины из стоек и поперечин в виде сегментов, называемых ригелями, обмотанных по контуру с определенной силой высокопрочной металлической лентой. Как правило, станина является незаменимой деталью рабочей клетки прокатного стана, разрушение которой влечет длительные простои и значительные убытки.

Станины рабочей клетки - самые ответственные детали прокатного стана.

В них монтируют подушки валков стана, а также другие устройства и механизмы, обеспечивающие заданную точность прокатки металла и производительность стана. Станинами воспринимается все давление металла на валки, возникающее при прокатке. Поэтому при конструировании и изготовлении станин особое внимание уделяется их прочности и жесткости.

Диаметр болтов, скрепляющих станины с плитовинами и плитовины с фундаментом, обычно определяют из соотношения:

$$d = (0,09 \div 0,15)D + 10 \text{ мм},$$

где  $D$  - диаметр рабочих валков, мм.

## 10 Конструкции и расчет механизмов уменьшения поперечной разнотолщинности

Поперечная разнотолщинность проявляется в неодинаковых размерах листа (полосы) поперек линии прокатки: коробоватость по середине полосы и волнистость у кромок.

Размер и форма разнотолщинности устанавливаются профилем зазора между валками, который зависит от изгиба валков, их смятия, износа, неравномерности теплового расширения, от неоднородности прочностных и геометрических свойств подката и других причин.

Одним из способов регулирования поперечной разнотолщинности является профилировка рабочих валков. Профиль рабочих валков делают выпуклым на величину  $0,05 \div 0,5$  мм в зависимости от ширины и толщины полосы. Затем для каждого вида продукции подбирают свой комплект профилированных валков.

Применяют также различный режим охлаждения валков по длине бочки – большее количество охлаждающей жидкости направляется на концевые участки бочки. Однако данные методы координально не меняют планшетность полосы (коробоватость, волнистость). Поэтому более широкое распространение получили методы регулирования поперечного профиля.

1. Метод противоизгиба (Р-Р) рабочего профиля (рисунок 34) заключается в том, что на шейки верхнего рабочего валка 1 действуют распирающие усилия от гидроцилиндров 2, расположенных в подушке 3 нижнего рабочего валка 4. Усилие распора Р невелико и поэтому гидроцилиндр небольшой (до 100 мм в диаметре) и используется давление жидкости до 30 МПа.

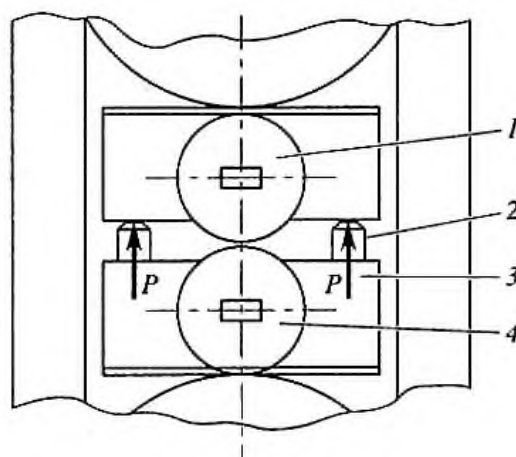


Рисунок 34 – Схема противоизгиба Р-Р[9]

Эффективность данного метода достигается при прокатке полосы с отношением ее ширины к длине бочки  $B/L < 0,7$ . При этом плечо распирающих усилий Р будет большим.

2. Дополнительный противоизгиб (О-Р) рабочих валков (рисунок 35) про-

изводится с помощью плунжеров гидроцилиндров 3, смонтированных на подушках 4 опорных валков 5 и упирающихся в подушки 2 рабочих валков 1. При этой схеме рабочие валки имеют начальную увеличенную выпуклость. Совместное действие плунжеров противоизгиба и распора выпрямляют профиль рабочих валков.

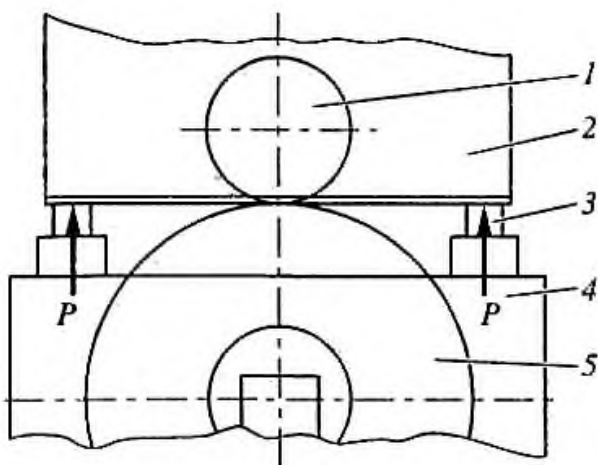


Рисунок 35 – Схема противоизгиба О-Р[9]

Данный способ эффективен при прокатке полос с отношением:

$$0,7 < \frac{B}{L} < 0,8 \div 0,9.$$

Иногда используют рассмотренные выше методы на одном стане.

3. Противоизгиб (О-О) опорных валков (рисунок 36) с помощью гидроцилиндров 2, упирающихся в удлиненные цапфы опорных валков 1. Опорные валки при этом действии дополнительно воздействуют на бочку рабочих валков, уменьшая их прогиб по центру. Большие габариты опорных валков требуют усиленных конструкций подшипников и гидроцилиндров противоизгиба.

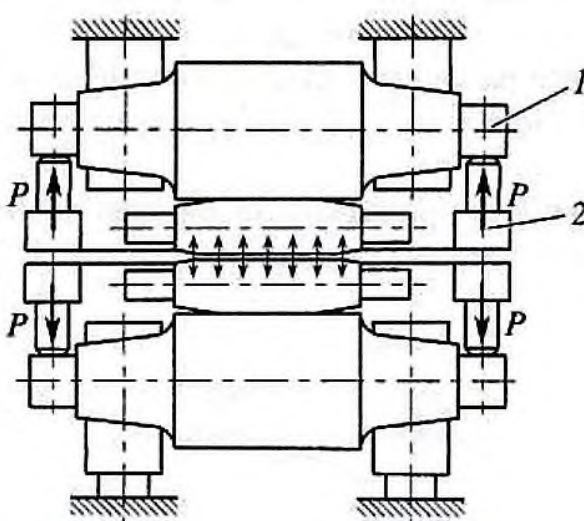


Рисунок 36 – Схема противоизгиба О-О [9]

Данный метод эффективен на толстолистовых станах с длиной бочки более 3000 мм.

Иногда совмещают регулировку толщины и поперечной разнотолщинности.

Так, на рисунке 37 в схеме регулировки толщины прокатки введены дополнительные короткие ролики 1. На их оси действуют гидроцилиндры 2, установленные на траверсе 3.

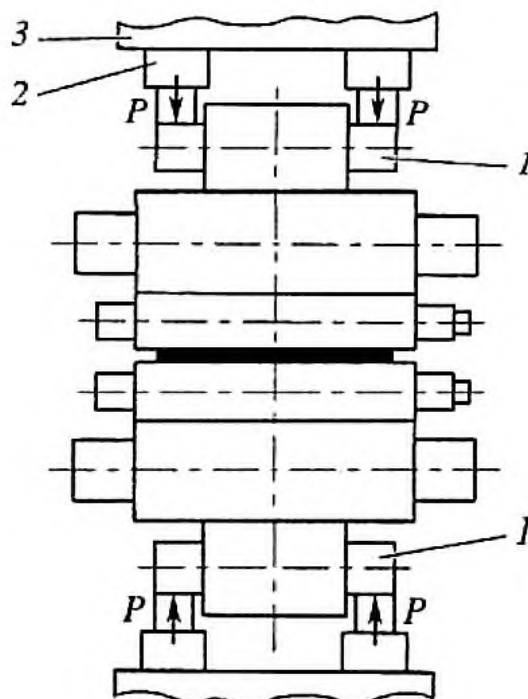


Рисунок 37 – Схема регулировки толщины проката [9]

Такой метод прокатки эффективен при большой ширине полосы (3200÷4800 мм), иногда требуется поджать рабочие валки в середине деформационной зоны.



## 11 Жесткость рабочей клетки и полосы

Точность прокатанной полосы (листа) зависит от общего деформационного прогиба клетки:

$$f_{\text{кл}} = f_{\text{в}} + f_{\text{с}} + f_{\text{под}} + f_{\text{н}} + f_{\text{подш}} + f_{\text{др}},$$

где  $f_{\text{в}}$  – прогиб валков;  
 $f_{\text{с}}$  – прогиб станины;  
 $f_{\text{под}}$  – прогиб подушек;  
 $f_{\text{н}}$  – прогиб нажимного узла;  
 $f_{\text{подш}}$  – прогиб подшипников;  
 $f_{\text{др}}$  – прогиб других деталей.

По методике А.А. Королева деформация нажимного механизма

$$f_{\text{н}} = P(\delta_{\text{г}} + \delta_{\text{в}}),$$

где  $\delta_{\text{г}}$  – податливость гайки,  $\delta_{\text{г}} = (h_{\text{г}} - 1,875 S_{\text{пр}})/2(E_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} + E_{\text{бг}} \cdot F_{\text{бг}})$ ;  
 $\delta_{\text{в}}$  – податливость винта,  $\delta_{\text{в}} = 2h_{\text{н}}/\pi d_{\text{в}}^2 E_{\text{в}}$ ;  
 $h_{\text{г}}$ ,  $h_{\text{в}}$  – высота гайки и сжимаемой части винта;  
 $S_{\text{пр}}$  – шаг резьбы гайки;  
 $E_{\text{ст}}$ ,  $E_{\text{бг}}$ ,  $E_{\text{в}}$  – модуль упругости стальной и бронзовой частей гайки и нажимного винта;  
 $F_{\text{ст}}$ ,  $F_{\text{бг}}$  – площади сечения стальной и бронзовой частей гайки;  
 $d_{\text{в}}$  – диаметр нажимного винта.

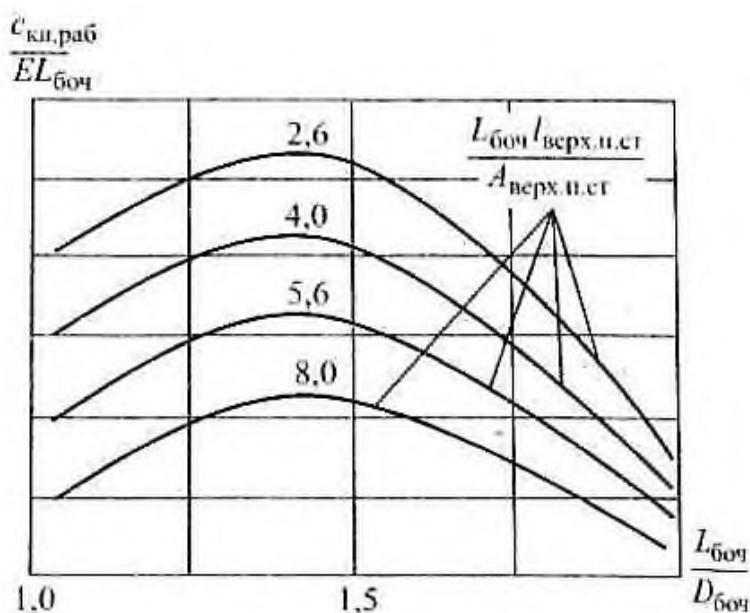
Рабочую клетку стараются спроектировать как можно менее металлоемкой для облегчения всей конструкции прокатного стана и экономии материала, но при этом как можно более жесткой для улучшения качества выпускаемого металлопроката. Увеличение общей жесткости за счет укрупнения поперечных сечений всех деталей, воспринимающих нагрузку при прокатке, не всегда приводит к достижению обозначенной цели. Так, при увеличении диаметра рабочего валка повышается его жесткость и уменьшается прогиб при прокатке, но при этом сильнее сплющивается бочка валка от контакта с прокатываемым металлом.

Ниже приведены варианты одновременного изменения диаметра бочки рабочего валка и площади поперечного сечения стойки станины, позволяющие достичь наибольшей жесткости клетки:

Таблица 2 - Варианты одновременного изменения диаметра бочки рабочего валка и площади поперечного сечения стойки станины, позволяющие достичь наибольшей жесткости клетки [7]

| Наименование параметра                           | Варианты |     |     |     |
|--|----------|-----|-----|-----|
| Диаметр бочки рабочего валка $D_{боч}$ , %       | 100      | 120 | 156 | 120 |
| Поперечное сечение стойки станины $A_{с ст}$ , % | 100      | 100 | 100 | 120 |
| Жесткость рабочей клетки $c_{кл}$ , %            | 100      | 111 | 117 | 115 |
| Масса рабочей клетки $m_{кл}$ , %                | 100      | 122 | 148 | 136 |

Расчетное значение относительной жесткости клетки  $c_{кл}/EL_{боч}$  в зависимости от соотношения длины и диаметра бочки  $L_{боч}/D_{боч}$  при различных значениях отношения произведения длины бочки на длину верхней поперечины станины к площади верхней поперечины станины  $L_{боч}l_{верх.п.ст}/A_{верх.п.ст}$  показывает, что максимальная жесткость клетки достигается при  $L_{боч}/D_{боч} = 1,4$  (рисунок 38).



$D_{боч}$ ,  $L_{боч}$  - диаметр и длина бочки рабочего валка;  $c_{кл}$  - собственная жесткость клетки,  $E$  - модуль Юнга

Рисунок 38 – Кривые жесткости рабочей клетки [7]

Жесткость клетки также повышается при увеличении отношения диаметра шейки  $d_{ш влк}$  к диаметру бочки рабочего валка  $D_{боч}$ . Так при использовании ПЖТ без конической втулки цапфы проседание бочки валка уменьшается в 3,0...3,5 раза при отношении  $d_{ш влк}/D_{боч} < 0,8$ . Дальнейшее увеличение  $d_{ш влк}/D_{боч}$  не дает существенного уменьшения деформаций.

Жесткость рабочей клетки можно повысить сразу на 25...30% (без увеличения ее массы), если верхний и нижний рабочие валки прижать друг к другу с силой, превышающей силу прокатки. Тогда предварительная нагрузка устранит

зазоры в соединениях. Такие предварительно напряженные клетки (ПНК) целесообразно применять в чистовых группах.

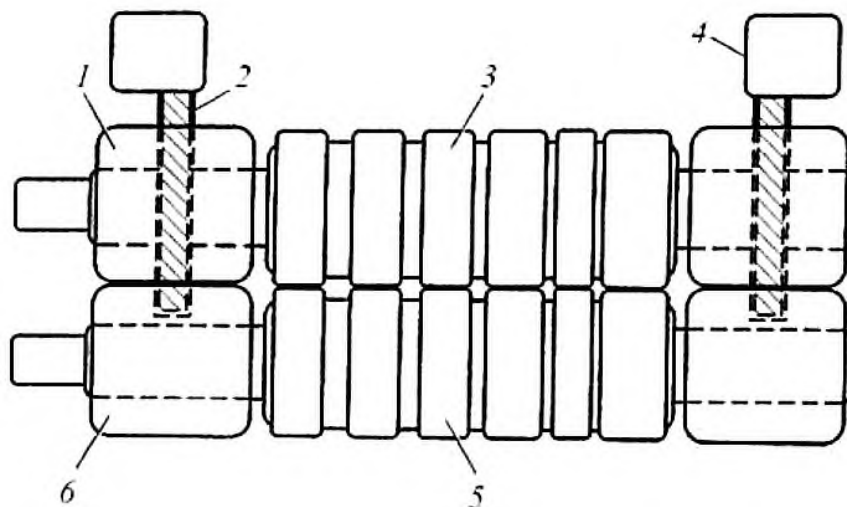
ПНК оснащают механизмами для регулирования раствора валков по показаниям измерителя размеров полосы, что резко снижает разнотолщинность проката.

Для горячекатаных листов толщиной 4...10 мм поле допуска по существующему стандарту составляет 10...25% толщины. Применение быстродействующих нажимных механизмов с системами автоматического регулирования раствора валков позволяет уменьшить это поле в 3 раза, то есть расход металла на равновеликую площадь листов снижается на 6%. Экономия металла за счет сокращения положительного поля допусков и использование отрицательного для мелкосортных профилей составляет 2%, а для среднесортных – 1%.

У бесшовных труб поле допусков на толщину стенки достигает 12,5...15% номинальной толщины стенки. Если эту разность уменьшить вдвое, экономия металла составит 6,8%.

При прокатке листов шириной 1000 мм для уменьшения поперечной разнотолщинности и улучшения планшетности проката станинные рабочие клетки оснащают гидромеханическими устройствами принудительного изгиба рабочих и опорных валков. Эти устройства, создающие дополнительные напряжения в элементах рабочей клетки, включаются только после захвата валками переднего конца полосы и выключаются по завершении прокатки. Клетки с гидромеханическими устройствами для принудительного изгиба валков не относятся к классу ПНК.

Бесстанинные ПНК с жесткой стяжкой подушек (рисунок 39) широко применяются на сортовых станах, имеют примерно в 3 раза меньшую массу и в 4 раза большую жесткость, чем станинные напряженные клетки.



1, 6 - верхняя и нижняя подушки; 2 - стяжной болт;  
3, 5 - верхний и нижний рабочие валки; 4 - мотор-редуктор

Рисунок 39 – Бесстанинная ПНК [7]

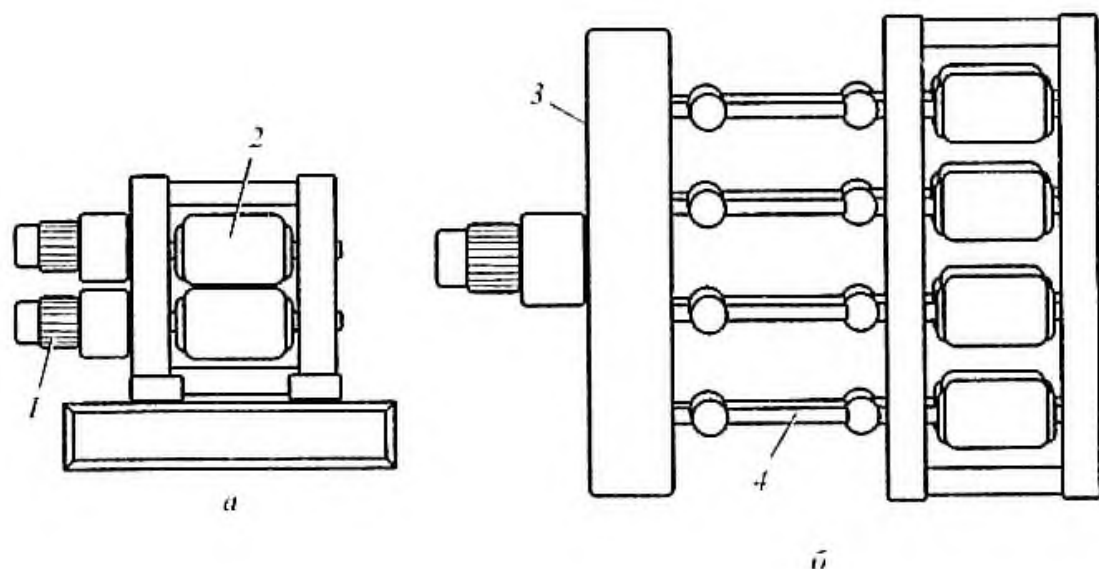
Дальнейшее усовершенствование ПНК связано с применением ПЖТ для восприятия радиальной нагрузки, а также гидростатических упорных подшипников для восприятия осевой нагрузки.

Гидростатические упорные подшипники имеют преимущества перед подшипниками качения по жесткости и надежности при высоких скоростях. При этом достигается гораздо более высокое предварительное напряжение. Так радиальная жесткость ПНК 370 примерно в 7 раз выше, чем у станинных клетей. Применение гидростатических упорных подшипников позволяет увеличить осевую жесткость в 12 раз.

## 12 Привод валков рабочих клеток

Главный привод клетки, вращающий рабочие или опорные валки, может быть электрическим или гидравлическим. Ручные приводы используются только в небольших станах для проката олова, свинца и других мягких цветных металлов.

Различают *индивидуальные* и *групповые электроприводы* (рисунок 40).



а - индивидуальный; б – групповой: 1 - мотор-редуктор; 2 - рабочий валок;  
3 - шестеренная клеть; 4 - шпиндель

Рисунок 40 – Главные электроприводы [7]

У *индивидуального электропривода* каждый рабочий валок имеет собственный электродвигатель (мотор-редуктор), но при этом необходима система синхронизации вращения валков. В случае *группового электропривода* один электродвигатель вращает все валки, но тогда необходима шестеренная клеть или редуктор-шестеренная клеть.

Режим работы электроприводов может быть *нереверсивным*, *реверсивным* и *периодическим*. Наиболее распространен *нереверсивный режим*, при котором каждый рабочий валок вращается только в одном направлении. *Реверсивный режим* работы состоит в том, что после прохода заготовки каждый рабочий валок меняет направление своего вращения на противоположное. Особенность *периодического режима* работы состоит в том, что прокатка заготовки рабочими валками осуществляется не на всех ее участках.

К конструированию и расчету главного электропривода приступают после того, как спроектирована рабочая клеть прокатного стана, рассчитаны скорость, сила и момент прокатки.

Прокатные цеха содержат наибольшее количество электроприводов по сравнению с другими цехами. На непрерывном широкополосном стане 2000 го-

рячей прокатки установлено около 2000 электродвигателей.

К основным особенностям работы электропривода клетей прокатных станов относятся большое количество включений (до 1000 включений в час для реверсивных станов), динамический характер нагрузки, превышающий номинальную нагрузку двигателей, а также разгон и торможение двигателя при наличии прокатываемого металла в рабочих валках.

С учетом этих особенностей к электродвигателю предъявляются следующие требования:

- жесткие механические характеристики;
- широкие пределы регулирования числа оборотов выходного вала;
- высокая перегрузочная способность по моменту;
- минимальный момент инерции ротора;
- большой пусковой момент.

На основе перечисленных требований выбирается тип электродвигателя.

В прокатных станах применяются *приводы с электродвигателями постоянного и переменного тока*. Электродвигатель постоянного тока обладает большей перегрузочной способностью, чем электродвигатель переменного тока, может работать в более напряженном режиме, но дороже, имеет более сложную, менее надежную конструкцию. Поэтому электродвигателю постоянного тока предпочтение отдают в том случае, если электродвигатель переменного тока не обеспечивает требуемых характеристик.

*Синхронный электродвигатель* наиболее целесообразен для привода с продолжительным режимом работы, редкими включениями и малыми нагрузками при пуске. Применение данного двигателя позволяет обеспечить в процессе эксплуатации высокие энергетические показатели.

*Асинхронные двигатели (АД)* широко применяются в промышленности благодаря простоте конструкции, надежности в эксплуатации. Если нет необходимости в бесступенчатом регулировании их скорости, то для питания АД не требуются преобразовательные установки, так как они получают энергию непосредственно от сетей переменного тока промышленной частоты. АД делятся на два основных типа: *с короткозамкнутым ротором* и *с фазным ротором*.

Электродвигатель для привода прокатного стана выбирают, в первую очередь, по номинальной мощности и частоте вращения выходного вала.

Номинальная мощность электродвигателя

$$N_{эд} = M_{п} \omega_{влк} / \eta_{пр},$$

где  $\omega_{влк}$  – угловая скорость рабочего вала;  
 $\eta_{пр}$  – КПД привода.

Частота вращения рабочего вала электродвигателя

$$\omega_{эд} = 2v_{п} \cdot i_{рд}/D_{боч},$$

где  $v_{п}$  – линейная скорость прокатки;  
 $i_{рд}$  – передаточное число редуктора.

*Мотор-редуктор* – моноблок, состоящий из электродвигателя и редукторной части, которая уменьшает частоту вращения выходного вала и увеличивает крутящий момент на нем.

При выборе мотор-редуктора учитывают характер внешней нагрузки, крутящий момент, частоту вращения входного и выходного валов, продолжительность суточной работы мотор-редуктора и частоту пуска. Различают цилиндрические, конические, червячные, планетарные, волновые и другие мотор-редукторы общепромышленного назначения.

Для прокатного стана наиболее применим *соосный планетарный мотор-редуктор*, состоящий из электродвигателя постоянного тока и редукторной части с планетарной зубчатой передачей. Он имеет большое передаточное число и сравнительно малую массу, компактен. Но при очень большом передаточном отношении работа планетарной передачи ухудшается и КПД планетарного мотор-редуктора получается низким.

Традиционная схема главного привода прокатного стана включает редуктор, обеспечивающий необходимое передаточное число между электродвигателем и рабочей клетью, и шестеренную клетку, предназначенную для распределения передаваемого момента между валками рабочей клетки. Во многих случаях, когда передаточное число редуктора меньше четырех и мощность привода невелика, редуктор объединяют с шестеренной клетью в одном корпусе. Как правило, такие комбинированные шестеренные клетки-редукторы изготавливают для многовалковых станов.

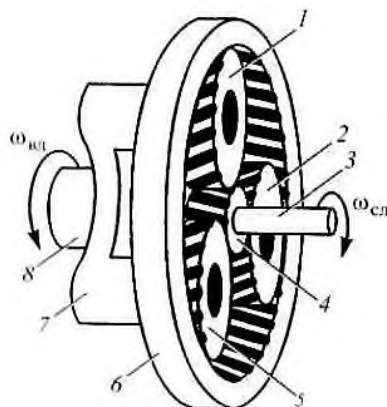
*Редуктор* применяют при частоте вращения рабочих валков менее 250 об/мин и только в том случае, если его стоимость не превышает разницы стоимости тихоходного и быстроходного электродвигателей. При большем числе оборотов выгодней привод с тихоходным электродвигателем без редуктора. Так, у толстолистовых реверсивных станов редукторы не применяются, поскольку тихоходный электродвигатель легче реверсируется.

Большой интерес представляет *адаптивный и рекуперативный приводы* с планетарными редукторами (дифференциалами).

Основа планетарного редуктора – планетарная зубчатая передача, содержащая зубчатые колеса (сателлиты) с перемещающимися геометрическими осями. Оси сателлитов прикреплены к водилу (рисунок 41).

На быстроходном входном валу редуктора устанавливают солнечную шестерню. Сателлиты, вращаясь обегая солнечную шестерню и перемещают-

ся вместе с водилом. Водило крепится на тихоходном выходном валу редуктора. Венцовое зубчатое колес неподвижно соединяется с корпусом редуктора.



1, 2, 5 - сателлиты; 3 - входной вал; 4 - центральная или солнечная шестерня; 6 - венцовое зубчатое колесо; 7 - водило; 8 - выходной вал ( $\omega_{сл}$  - угловая скорость вращения солнечной шестерни;  $\omega_{вд}$  - угловая скорость вращения водила планетарной передачи)

Рисунок 41 – Планетарная зубчатая передача [7]

Передаточное число планетарного редуктора

$$I_{рд} = \omega_{сл} / \omega_{вд},$$

где  $\omega_{сл}$  – угловая скорость вращения солнечной шестерни;  
 $\omega_{вд}$  - угловая скорость вращения водила.

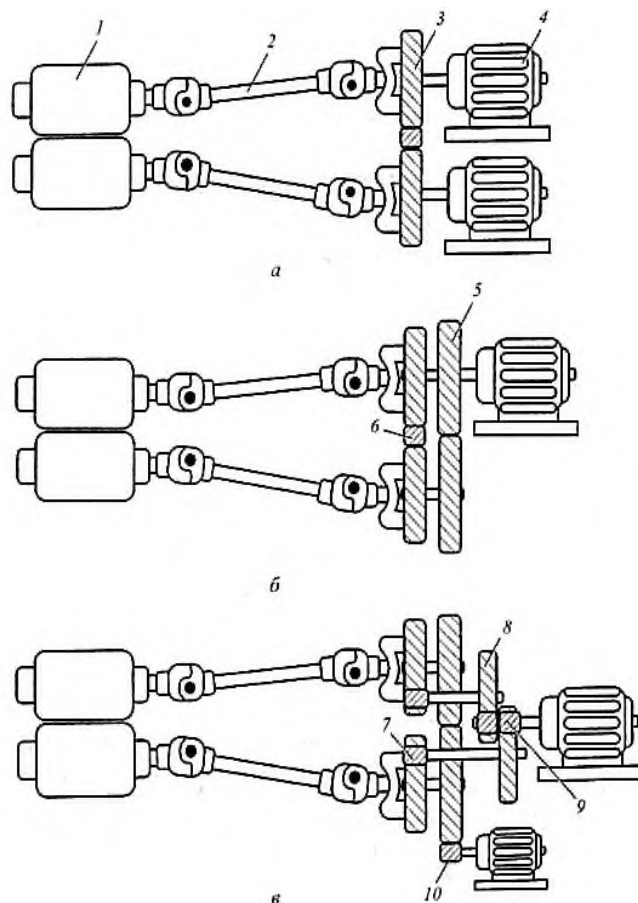
Если в планетарной передаче венцовому колесу дана возможность вращаться, то такую передачу называют *дифференциалом*. В этом случае скорость вращения водила складывается из скоростей вращения солнечной шестерни и венцового зубчатого колеса;

$$\omega_{вд} = \frac{\omega_{сл}}{1 + \frac{z_{к.вц}}{z_{сл}}} + \frac{\omega_{к.вц} \frac{z_{к.вц}}{z_{сл}}}{1 + \frac{z_{к.вц}}{z_{сл}}},$$

где  $\omega_{к.вц}$  – угловая скорость венцового колеса;  
 $z_{к.вц}, z_{сл}$  – число зубьев венцового колеса и солнечной шестерни.

*Адаптивным (самонастраивающимся)* называется такой привод, в котором силовое воздействие валков с металлом диктует кинематику движения валков (рисунок 42, а, б).





а - адаптивный индивидуальный; б - адаптивный групповой;  
 в – рекуперативный: 1 - рабочий валок; 2 - шпиндель; 3 - дифференциал;  
 4 - электродвигатель; 5 - шестеренный валок; 6 - балансирующая шестерня;  
 7, 8, 9, 10 - шестерни и зубчатые колеса балансирующего звена

Рисунок 42 – Электроприводы [7]

Венцовые зубчатые колеса дифференциалов связаны между собой балансирующей шестерней. Требуемое соотношение моментов прокатки на рабочих валках при равенстве передаточных чисел дифференциалов обеспечивается передаточным числом балансирующей зубчатой передачи.

В адаптивном приводе ни разница в катающих радиусах калибров, ни биение валков, ни кинематические погрешности передач не могут оказать влияния на силовые факторы очага деформации. Исключается пробуксовка валков по металлу, при прокатке сложных профилей катающие радиусы могут иметь некоторые отклонения от расчетных.

Если балансирующее звено связать с дополнительным электродвигателем, возникает регулируемый по скорости рекуперативный привод рабочих валков (рисунок 42, в). Ведущие солнечные шестерни приводят в движение от первого электродвигателя, а венцовые колеса – от второго (электродвигателя балансирующего звена). Скорости вращения нижнего и верхнего рабочих валков, связанных с водилами, соответственно равны

$$\omega_{\text{ВЛК } 1} = \frac{\omega_{\text{ЭД}1}}{\left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}1}} + \frac{\omega_{\text{ЭД}2} \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}}{\left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}2}};$$

$$\omega_{\text{ВЛК } 2} = -\frac{\omega_{\text{ЭД}1}}{\left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}1}} + \frac{\omega_{\text{ЭД}2} \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}}{\left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}2}},$$

Где  $\omega_{\text{ВЛК } 1}$ ,  $\omega_{\text{ВЛК } 2}$  – угловая скорость выходного вала соответственно первого и второго электродвигателя;

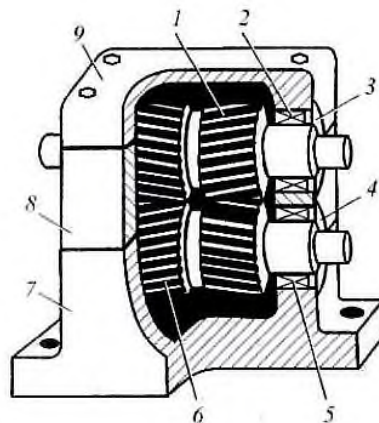
$i_{\text{р}1}$ ,  $i_{\text{р}2}$  – передаточные числа ветвей от электродвигателей до дифференциалов.

Угловые скорости первого и второго электродвигателей

$$\omega_{\text{ЭД}1} = \frac{\omega_{\text{ВЛК}1} \left(\frac{\omega_{\text{ВЛК}1}}{\omega_{\text{ВЛК}2}} - 1\right) \left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}1}}{2 \frac{\omega_{\text{ВЛК}1}}{\omega_{\text{ВЛК}2}}};$$

$$\omega_{\text{ЭД}2} = \frac{\omega_{\text{ВЛК}1} \left(\frac{\omega_{\text{ВЛК}1}}{\omega_{\text{ВЛК}2}} + 1\right) \left(1 + \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}\right) i_{\text{р}2}}{2 \frac{\omega_{\text{ВЛК}1}}{\omega_{\text{ВЛК}2}} \frac{z_{\text{к.вц}}}{z_{\text{сл}}}}.$$

Оба двигателя рекуперативного привода всегда работают в двигательном режиме. Для разделения крутящего момента, получаемого от электродвигателя, и синхронизации вращения валков применяют шестеренные клетки – одноступенчатые редукторы с передаточным отношением, равным единице (рисунок 43).



1, 6 - шестеренные валки; 2, 5 - подшипники; 3, 4 - крышки подшипников;  
7, 8 - составной корпус; 9 - крышка

Рисунок 43 – Шестеренная клетка [7]

Корпус и крышку отливают из высокопрочного или модифицированного

чугуна марок ВЧ45-5, СЧ32-52.

Подшипники – роликовые конические или баббитовые, если конструктивно нельзя применить роликовые ввиду их больших габаритов.

Шестеренные валки изготовляют из сталей марок 45, 40ХН, 60Х2МФ и др. (таблица 3).

Таблица 3 – Механические характеристики шестеренных валков [7]

| Характеристика материала, ед. изм. | Шестеренные валки    |                       |              |             |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|-------------|
|                                    | с шевронными зубьями |                       | косозубые    |             |
|                                    | ведущий              | ведомый               | ведущий      | ведомый     |
| Предел прочности, МПа              | 650...800            | 650...800             | 650...800    | 800...1200  |
| Предел текучести, МПа              | 480...580            | 480...500             | 480...600    | 600...930   |
| Твердость рабочих поверхностей     | 250...300 НВ         | 45...48 НRC           | 250...300 НВ | 58...63 НRC |
| Вид термообработки                 | Улучшение            | Поверхностная закалка | Улучшение    | Цементация  |

Как показывает опыт эксплуатации, зубчатые передачи в большинстве случаев выходят из строя не вследствие поломки зубьев, а из-за выкрашивания их рабочих контактных поверхностей. Поэтому зубья передач всех типов рассчитывают сначала на прочность контактных поверхностей по небольшим напряжениям, а затем уже – на прочность по опасному сечению, то есть по основанию зуба.

В главном приводе прокатного стана *муфты* соединяют выходной вал электродвигателя с быстроходным валом редуктора, а также тихоходный вал редуктора с приводным шестеренным валком. Муфта выбирается по передаваемому крутящему моменту, исходя из диаметров соединяемых валов.

Различают несколько типов муфт: *зубчатые, упругие втулочно-пальцевые, с резиновым баллоном* и др.

*Зубчатая муфта* состоит из зубчатых втулок и двух зубчатых обойм, которые соединены между собой болтами. Наряду с достоинствами (простота конструкции, компенсирующие свойства при перекосах валов) зубчатые муфты имеют недостатки: необходимость частой заправки смазки, динамические нагрузки при выборе боковых зазоров в зубьях при реверсивной работе, ненадежность узлов уплотнения, сложность технологии изготовления зубьев.

*Упругая втулочно-пальцевая муфта* смягчает толчки и удары в приводе и предотвращает опасные колебания. Она состоит из двух полумуфт, соединенных между собой пальцами с надетыми на них резиновыми кольцами.

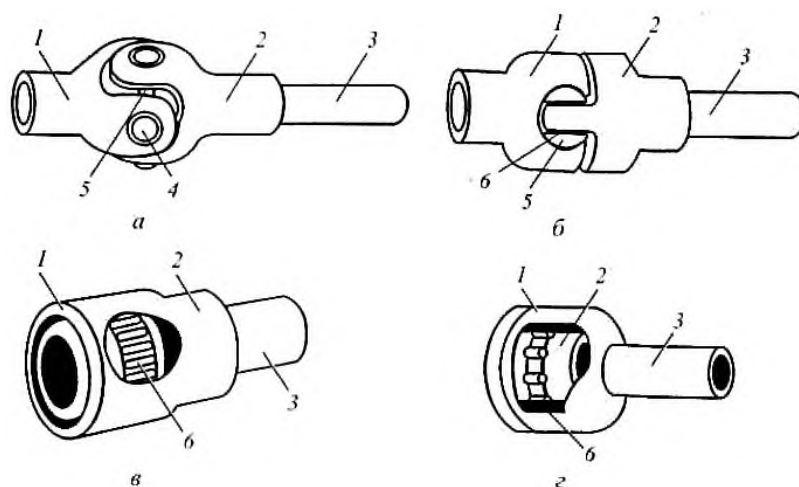
*Муфта с резиновым баллоном* не требует смазки, проста в изготовлении, бесшумна в работе, допускает смещение и перекос валков. Баллон делают из специальной эластичной резины, а для повышения нагрузочной способности

его оболочку армируют кордом. Срок службы баллонов - 3-4 года.

*Шпиндели*, как правило, соединяют рабочие валки с шестеренными и, благодаря шарнирам, передают крутящий момент под значительным углом. Угол наклона шпинделя может меняться вследствие изменения раствора валков (при продольной прокатке) или угла подачи (при винтовой прокатке).

Если шпиндель обладает большой массой, то для снижения нагрузки его шарниров, а также подшипников рабочих и шестеренных валков применяют уравнивание: *грузовое, пружинное и гидравлическое*.

В прокатных станах используют шпиндели с разными конструкциями шарниров: *карданные, универсальные, зубчатые, роликовые* (рисунок 44).



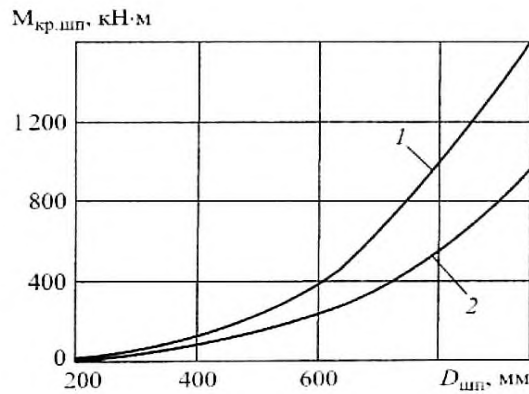
а - карданного; б - универсального; в - зубчатого; г – роликового: 1, 2 - валки; 3 - вал; 4 - подшипник качения; 5 - крестовина; 6 - сухарь (ролик)

Рисунок 44 – Шарниры шпинделей [7]

*Карданный шпиндель* допускает небольшой угол наклона, поскольку имеет шарниры Гука, крестовины которых так соединяют вилки между собой, что позволяет им поворачиваться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

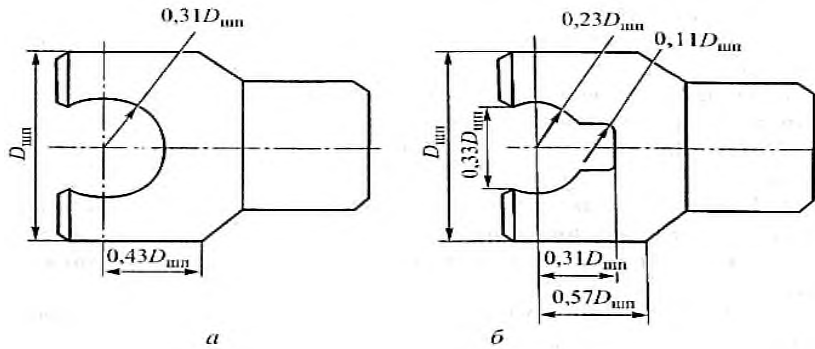
Долговечность подшипников качения карданного шпинделя на два порядка больше долговечности бронзовых вкладышей скольжения универсального шпинделя. Однако при одинаковом номинальном наружном диаметре  $D_{шп}$  шарниров нагрузочная способность карданного шпинделя по допустимому крутящему моменту  $M_{кр шп}$  существенно ниже, чем универсального (рисунок 45). Это объясняется низкой грузоподъемностью подшипников качения и крестовин шарниров Гука.

Шарнир универсального шпинделя образуется лопастью со стороны рабочего или шестеренного валка, вилок с цилиндрической расточкой, бронзовыми сегментными вкладышами скольжения и сухарем круглого поперечного сечения. Сухарь располагается в расточке вилки и ограничивает смещение лопасти относительно вилки.



1 - с вкладышами скольжения; 2 - Гука  
Рисунок 45 – Нагрузочная способность шарниров [7]

Универсальный шпиндель совершенствовали, усложняя форму его вилок (рисунок 46).



а - с расточкой; б - с расточкой и прорезью  
Рисунок 46 – Шпиндельная вилка [7]

Наружный диаметр вилки  $D_{шп} = 200...1600$  мм. Прорезь под конец лопасти позволяет увеличить наклон шпинделя до угла  $6^\circ$ .

*Зубчатый шпиндель* представляет собой две зубчатые муфты, соединенные промежуточным валом. Для повышения износостойкости поверхности зубьев выполняют с твердостью HRC 45...55.

Зубчатый шпиндель при углах наклона менее  $1^\circ$  имеет преимущество по нагрузочной способности перед карданным шпинделем, но с увеличением угла наклона его нагрузочная способность резко снижается из-за интенсификации изнашивания зубьев.

*Роликовый шпиндель* обеспечивает более высокую нагрузочную способность и долговечность, обладает большей компенсирующей способностью по сравнению с зубчатым шпинделем. Контакт обойм и втулок осуществляется через ролики.

Материал обоймы, втулок и роликов – хромистая сталь. Твердость контактирующих тел – HRC 43...50. При применении цементируемых хромистых сталей и поверхностной закалки твердость может быть повышена до HRC 50...55. Роликовые шпиндели допускают угол наклона до  $3^\circ$ .

### 13 Расчеты подшипников прокатных станов

При конструировании прокатных станов подшипники качения выбирают из числа стандартных по условным формулам.

Основная характеристика подшипника – *динамическая грузоподъемность*  $\Gamma_{\text{пш}}$ , зависящая от материала, размеров и конструкции подшипника и эмпирически связанная с ресурсом работы подшипника:

$$D_{\text{пш}} = (\Gamma_{\text{пш}}/P_{\text{э пш}})^3 \text{ – для шариковых подшипников;}$$

$$D_{\text{пш}} = (\Gamma_{\text{пш}}/P_{\text{э пш}})^{10/3} \text{ – для роликовых подшипников,}$$

где  $D_{\text{пш}}$  – ресурс (долговечность), млн. оборотов;

$P_{\text{э пш}}$  – эквивалентная нагрузка на подшипник.

Различают подбор подшипников по *динамической грузоподъемности* для предупреждения усталостного разрушения (выкрашивания) и по *статической грузоподъемности* для предупреждения остаточных деформаций.

При выборе типоразмера подшипника для заданных условий работы необходимо учитывать:

- значения и направления нагрузки (радиальная, осевая или комбинированная);
- характер нагрузки (постоянная, переменная, вибрационная или ударная);
- частоту вращения внутреннего кольца подшипника;
- необходимую долговечность, выраженную в часах или миллионах оборотов;
- температуру, влажность и запыленность окружающей среды и т.п.

Выбор подшипника проводят следующим образом: сначала намечают тип, определяют типоразмер подшипника, удовлетворяющий значению и направлению действующих нагрузок, частоте вращения и требуемому сроку службы, а затем назначают класс точности подшипника с учетом особых требований к точности вращения узла. Если таковых нет, принимают нормальный класс точности.

Затем, учитывая требуемый срок службы, рассчитывают необходимую динамическую грузоподъемность, после чего конкретизируют по каталогу типоразмер подшипника и его габаритные размеры.

Расчет и выбор подшипников опор прокатных валков имеет свои особенности. Радиальная нагрузка от силы прокатки воспринимается основным, а осевая – вспомогательным подшипником. Основной подшипник обычно четырехрядный с коническими или цилиндрическими роликами, а вспомогательный – радиально-упорный или упорный. Если в узле установлены несколько одинако-

вых равномерно нагруженных подшипников, то его динамическую грузоподъемность определяют следующим образом:

$$\Gamma_{\text{пш уз}} = \Gamma_{\text{пш}} \sqrt[10]{n_{\text{пш}}^7} - \text{для шариковых подшипников};$$

$$\Gamma_{\text{пш уз}} = \Gamma_{\text{пш}} \sqrt[9]{n_{\text{пш}}^7} - \text{для роликовых подшипников},$$

где  $n_{\text{пш}}$  – число подшипников.

К конструкции подшипниковых узлов предъявляют такие требования, как удобство и быстрота сборки-разборки узла, высокие радиальная и осевая жесткости, посадка деталей без зазоров. Кроме того, в подшипниковых узлах должны быть предусмотрены уплотнения для предотвращения вытекания смазки.

## 14 Расчеты механизмов установки и уравнивания валков

Диаметр резьбы нажимного винта определяют в зависимости от максимального усилия, действующего на него при прокатке:

$$d_{\text{в винт р}} = \sqrt{4P_{\text{п}}/\pi[\sigma]},$$

где  $d_{\text{в винт р}}$  – наружный диаметр резьбы нажимного винта;  
 $P_{\text{п}}$  – максимальное усилие, действующее на винт при прокатке;  
 $[\sigma]$  – допускаемое напряжение на сжатие винта.

Нажимные винты изготавливают из ковanej стали марок Ст5, 40Х, 40ХН с  $\sigma_{\text{в}} = 600 \dots 750$  МПа. В расчетах принимают пятикратный запас прочности и  $[\sigma_{\text{в}}] = 120 \dots 150$  МПа. Расчетный диаметр винта сравнивают с данными ГОСТа и принимают ближайшее большее значение из стандартного ряда. Диаметр нажимной гайки  $D_{\text{г}}$  и ее высоту  $H_{\text{г}}$  определяют из соотношений:

$$D_{\text{г}} = (1,5 \dots 1,8)d_{\text{в винт р}};$$
$$H_{\text{г}} = (0,95 \dots 1,1) D_{\text{г}},$$

где  $d_{\text{в винт р}}$  – наружный диаметр резьбы нажимного винта.

Для приведения во вращение нажимного винта к верхнему его концу прикладывают крутящий момент, рассчитываемый по формуле:

$$\mu_{\text{кр. винт}} = P_{\text{винт}} \left[ \mu_{\text{пт}} \frac{d_{\text{пт}}}{3} + \frac{d_{\text{ср винт р}}}{2} \text{tg}(\alpha_{\text{р}} + \varphi_{\text{тр}}) \right],$$

где  $P_{\text{винт}}$  – сила, действующая на нажимной винт;  
 $\mu_{\text{пт}}$  – коэффициент трения в пяте;  
 $d_{\text{пт}}$  – диаметр пяты нажимного винта;  
 $d_{\text{ср винт р}}$  – средний диаметр резьбы винта;  
 $\alpha_{\text{р}}$  – угол подъема резьбы;  
 $\varphi_{\text{тр}}$  – угол трения в резьбе;  $\text{tg} \varphi_{\text{тр}} = \mu_{\text{тр}}$  ( $\mu_{\text{тр}}$  – коэффициент трения в резьбе между винтом и гайкой); при нормальной смазке резьбы принимают  $\mu_{\text{тр}} = 0,1$ , тогда  $\varphi_{\text{тр}} = 5^{\circ}40'$ .

Во время паузы между проходами, когда на нажимной винт не действует сила прокатки, но действует сила со стороны устройства уравнивания верхнего валка силу  $P_{\text{винт}}$  определяют следующим образом

$$P_{\text{винт}} = P_{\text{ур}} - \frac{P_{\text{ур д}}}{2} = (0,2 \dots 0,4) \frac{P_{\text{ур д}}}{2},$$



где  $P_{ур}$  - сила, действующая на одну подушку валка со стороны механизма уравнивания;

$P_{ур д}$  – сила, равная весу уравниваемых деталей (верхний валок, его подушки и нажимной винт).

По крутящему моменту  $M_{кр. внт}$  определяют мощность двигателя нажимного механизма:

$$N_{дв} = M_{кр. внт} \cdot \omega_{дв} / i \cdot \eta,$$

где  $i$  – передаточное число привода;

$\eta$  – КПД передачи от двигателя к винту;

$\omega_{дв} = \pi n_{дв} / 30$  – угловая скорость двигателя при частоте  $n_{дв}$ , мин<sup>-1</sup>.

Тип и характеристику двигателя подбирают по каталогам. Для установочных механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме, мощность и момент двигателя определяют из условия его нагрева по среднеквадратичной силе тока и обеспечения достаточно быстрого разгона двигателя. В этом случае учитывают динамическую нагрузку, возникающую при ускорении вращения деталей в приводе от двигателя до нажимного винта, по формуле:

$$M_{дв} = M_{ст} + M_{дин},$$

где  $M_{ст}$  – статический момент на валу двигателя, Н·м;

$M_{дин}$  – динамический момент на валу двигателя, Н·м;

$$M_{дин} = J d\omega / dt = J \varepsilon_{пр} = \frac{m D_i^2}{4} \varepsilon_{пр},$$

где  $J$  – момент инерции массы всех вращающихся деталей привода приведенной к валу двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{пр}$  – угловое ускорение привода при разгоне, 1/с<sup>2</sup>.

При использовании гидравлических механизмов для уравнивания валков необходимое давление масла в цилиндре гидравлического уравнивания  $P_y$  определяют по формуле:

$$P_y = \frac{\pi d_{ц}^2}{4} = (1,2 \dots 1,4)G, \text{ откуда } P_y = \frac{(4,8 \dots 5,6)G}{\pi d_{ц}^2},$$

где  $G$  – масса уравниваемых деталей, т;

$d_{ц}$  – внутренний диаметр цилиндра, мм;

1,2...1,4 – коэффициент «переуравнивания», принимаемый с целью обеспечения прижатия подушек к нажимным винтам.

Обычно принимают  $P_y = 5 \dots 10$  кПа.

## 15 Расчет станин рабочих клеток

Ввиду сложности конфигурации станины прокатных станов не поддаются точному расчету. Однако выполнение расчетов, хотя до некоторой степени и приближенных, необходимо для уверенности, что принятые при конструировании размеры станины обеспечивают ее прочность и жесткость.

Станины рассчитывают на максимальное вертикальное усилие, действующее при прокатке на шейку валка. Горизонтальными усилиями, действующими на валки и станину в момент захвата и при прокатке с натяжением, обычно пренебрегают из-за незначительности (10÷15%) в сравнении с вертикальным усилием. Для упрощения расчета станину закрытого типа представляют в виде жесткой прямоугольной рамы (или с закруглениями по углам), состоящей из двух одинаковых стоек и двух одинаковых поперечин (рисунок 47, а, б).

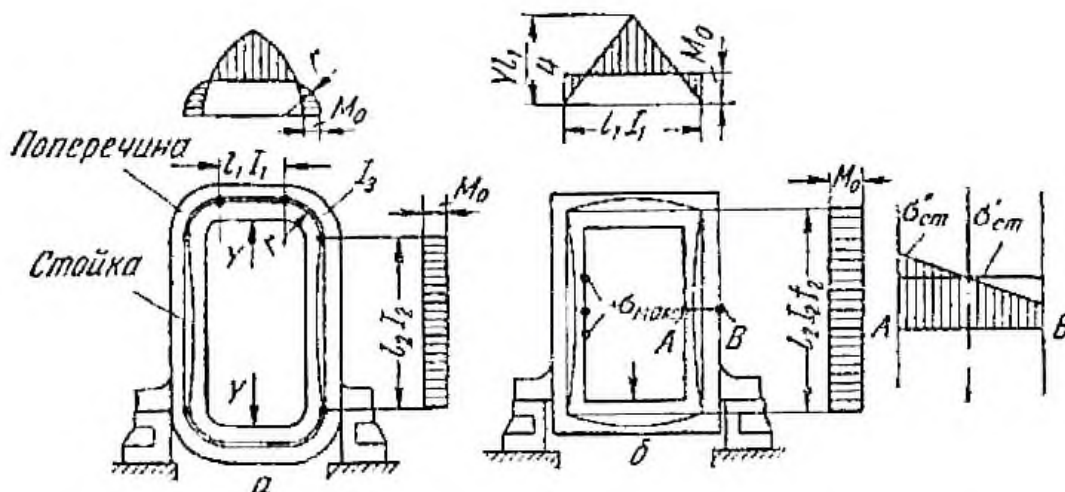


Рисунок 47 – К расчету станины закрытого типа [12]

Со стороны нижней подушки на нижнюю поперечину и со стороны нажимного винта на верхнюю поперечину станины действуют вертикальные силы  $Y$ , равные максимальному усилию, воспринимаемому шейкой валка при прокатке. В листовых станах это усилие равно половине максимального усилия прокатки (давления металла на валки при прокатке), т. е.  $Y = P/2$ . В сортовых и обжимных станах  $Y = R$ , где  $R$  - максимальное усилие на шейку валка ( $R > P/2$ ).

Под действием силы  $Y$  в углах жесткой рамы возникнут статически неопределимые моменты  $M_0$ , направленные, как показано на рисунке 48, а. Эти моменты будут изгибать стойки внутрь окна станины, а поперечины - против действия сил  $Y$ . На рисунке 47, а, б и на рисунке 48, а показаны нейтральные линии сечений поперечин и стоек станины, проведенные через центры тяжести сечений, и их изменение при деформации станины.

Каждая стойка станины растягивается под действием силы  $Y/2$  и изгибается постоянным по всей высоте стойки моментом  $M_0$ . Напряжение растяжения в любом сечении по высоте стойки будет равно

$$\sigma'_{ст} = \frac{Y/2}{F_2},$$

где  $F_2$  - площадь сечения стойки.

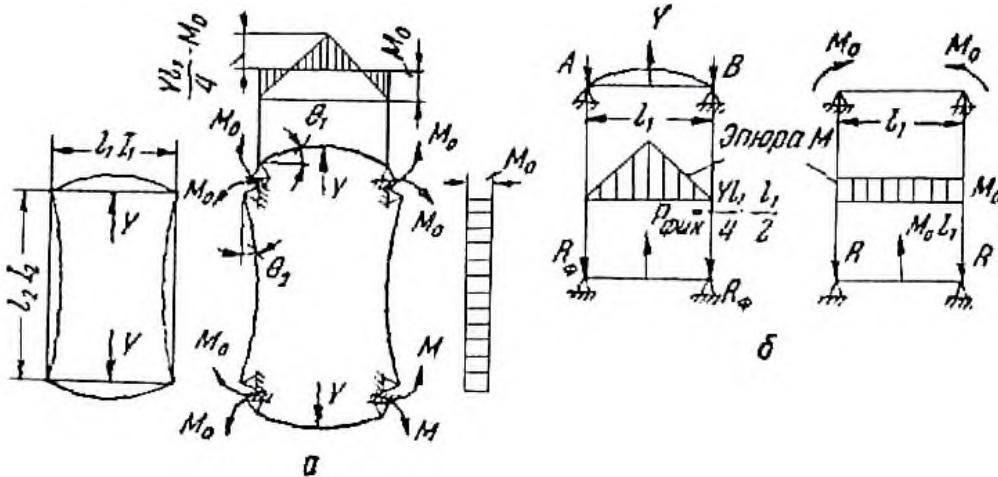


Рисунок 48 – К расчету жесткой статически неопределимой рамы [12]

Под действием изгибающего момента  $M_0$  наружная сторона стойки будет испытывать напряжения сжатия, а внутренняя - напряжения растяжения. Это растягивающее напряжение от изгиба

$$\sigma''_{ст} = \frac{M_0}{W_2},$$

где  $W_2$  – момент сопротивления сечения стойки.

Напряжение растяжения от изгиба  $\sigma''_{ст}$  будет складываться с напряжением растяжения  $\sigma'_{ст}$  от действия силы  $Y/2$  и суммарное напряжение растяжения на внутренних поверхностях стоек (точка А со стороны окна станины, рисунок 47) будет равно

$$\sigma_{ст.маx} = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_0}{W_2}.$$

Статически неопределимый момент  $M_0$  находим следующим образом. Представим жесткую раму разрезанной в углах и образующей четыре свободные двухопорные балки. Для учета влияния жестких углов в соединениях поперечин со стойками приложим к отрезанным балкам в опорах моменты  $M_0$ , направленные так, как показано на рисунке 48. Таким образом, система стала статически определимой, и мы можем рассчитывать ее известными способами.

Рассмотрим, чему равны углы поворота поперечины и стойки при изгибе. Из рисунка 48, а следует, что поперечина изгибается наружу силой  $Y$  и внутрь

моментом  $M_0$ , т.е. действие их противоположно. Стойка изгибается внутрь рамы моментом  $M_0$ . Из курса «Сопротивление материалов» известно, что угол наклона  $\theta$  касательной к изогнутой оси в точке опоры равен опорной реакции  $R_\Phi$  от фиктивной моментной нагрузки, деленной на жесткость балки  $EI_1$ , т.е.

$$\theta = \frac{R_\Phi}{EI_1}.$$

При изгибе двухопорной балки сосредоточенной силой (рисунок 48, б) моментная нагрузка будет равна площади эпюры моментов  $\frac{Yl_1}{4} \cdot \frac{l}{2}$ , а фиктивная реакция на опоре - половине моментной нагрузки, т. е.  $R_\Phi = \frac{Yl_1^2}{16}$ . Таким образом, угол поворота оси балки на опоре будет равен

$$\theta' = \frac{Yl_1^2}{16EI_1}.$$

Если балка изгибается не силой  $Y$ , а моментом  $M_0$ , приложенным на опорах (рисунок 48, б), то площадь эпюры моментов будет равна  $M_0l_1$ , фиктивная опорная реакция  $R_\Phi = \frac{M_0l_1}{2}$  и угол наклона оси будет выражаться формулой

$$\theta'' = \frac{M_0l_1}{2EI_1}.$$

Прогибы балки от действия силы  $Y$  и моментов на опорах направлены в разные стороны, поэтому результирующий прогиб будет равен

$$\theta_1 = \frac{Yl_1^2}{16EI_1} - \frac{M_0l_1}{2EI_1}.$$

По аналогии с предыдущим случаем угол поворота стойки высотой  $l_2$ , изгибаемой моментами  $M_0$ , приложенными на опорах, будет равен

$$\theta_2 = \frac{M_0l_2}{2EI_2}.$$

Так как в жесткой раме опоры в углах принадлежат и поперечине (длиной  $l_1$ ) и стойке (длиной  $l_2$ ), то их углы поворота должны быть равны между собой.

Приравнивая  $\theta_1 = \theta_2$ , получим формулу для подсчета статически неопре-

делимого момента  $M_0$

$$M_0 = \frac{Yl_1}{4} \cdot \frac{1}{2 \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} \right)}$$

Если у станины углы соединения поперечин со стойками значительно закруглены, то момент  $M_0$  подсчитывают по формуле А.И. Целикова

$$M_0 = Y \frac{\frac{l_1^2}{8I_1} + \frac{r^2}{I_3} \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) + \frac{l_1 r}{2I_1}}{\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2} + \frac{\pi r}{I_3}} = \frac{Yl_1}{4} \cdot \frac{1 + 4 \frac{r}{l_1} \left( 1,15 \frac{r}{l_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} + 1 \right)}{2 \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} + \pi \frac{r}{l_1} \cdot \frac{I_1}{I_3} \right)}$$

Из анализа этой формулы видно, что если  $r = 0$ , то она будет аналогична предыдущей формуле.

Каждая поперечина станины подвергается только изгибу от действия силы  $Y$  и момента  $M_0$ . Реактивный момент  $M_0$ , приложенный в углах станины, будет уменьшать изгибающее действие силы  $Y$ . В результате максимальный момент в середине поперечины определим по формуле

$$M_n = \frac{Yl_1}{4} - M_0$$

и максимальное растягивающее (или сжимающее) напряжение в середине поперечины, возникающее в результате действия изгибающих моментов, равно

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W_1},$$

где  $W_1$  - момент сопротивления сечения поперечины.

В тонколистовых станах горячей и холодной прокатки имеет значение не только прочность станин (определяемая величиной возникающих в них напряжений), но их жесткость, т.е. величина их деформации при прокатке. Если деформация станин этих станов при прокатке будет значительной, то это отразится на величине допусков по толщине прокатываемых листов.

Величину деформации (растяжения от силы  $Y/2$ ) стойки станины определяют по формуле

$$f_1 = \frac{Yl_2}{2EF_2},$$

где  $E$  - модуль упругости материала станины (для стального литья  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup> ( $2 \cdot 10^4$  кг/мм<sup>2</sup>)).

Деформацию двух поперечин под действием изгибающих моментов определяют по формуле

$$f_2 = \left( \frac{Yl_1}{6} - M_0 \right) \frac{l_1^2}{4EI_1}.$$

Так как величина сечения поперечины по сравнению с ее длиной значительна, то поперечины будут также деформироваться под действием поперечных (срезающих) сил. Эту деформацию определяют по формуле

$$f_3 = 1,2 \frac{Yl_1}{2GF_1},$$

где  $G$  - модуль сдвига (для стального литья  $G \approx \frac{3}{8}E = 0,75 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ ).

Общая деформация станины в вертикальном направлении (по ее оси)

$$f = f_1 + f_2 + f_3.$$

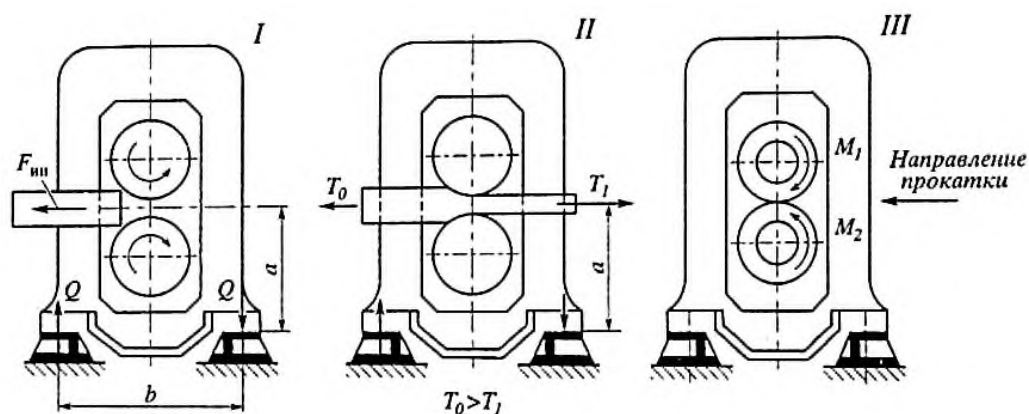
Для станов холодной прокатки лент эта деформация не должна превышать 0,3-0,5 мм, для четырехвалковых станов горячей прокатки полос - 0,5-1,0 мм.

Для большей надежности в работе, как правило, станины изготавливают из стального углеродистого литья, содержащего 0,25-0,35% углерода. Механические свойства такой стали должны быть следующими:  $\sigma_B = 500 \div 600 \text{ Н/мм}^2$  ( $50 \div 60 \text{ кг/мм}^2$ ), удлинение  $\delta_5 = 12 \div 16 \%$ . Для мелкосортных и среднесортных станов станины могут быть изготовлены из высокопрочного чугуна, содержащего шаровидный графит.

Станина – самая ответственная часть прокатного стана, поэтому ее следует выполнять с большим запасом прочности. При поломке валков материал станин не должен давать остаточных напряжений. Если для валков коэффициент запаса прочности принимают равным не менее 5, то для станин этот коэффициент должен быть не менее 10. Таким образом, при пределе прочности стального литья станин  $\sigma_B = 500 \div 600 \text{ Н/мм}^2$  допускаемое напряжение в станинах принимают равным  $[\sigma] = 50 \div 60 \text{ Н/мм}^2$  ( $5 \div 6 \text{ кг/мм}^2$ ). Для станин из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом  $[\sigma] = 40 \div 50 \text{ Н/мм}^2$  ( $4 \div 5 \text{ кг/мм}^2$ ).

## 16 Расчет рабочей клетки на опрокидывание

При захвате валками металла возникают большие инерционные усилия, стремящиеся опрокинуть рабочую клетку, установленную на плитовинах. Максимальное инерционное усилие равно силе трения в очаге деформации (рисунок 49, положение I).



а - в момент захвата металла валками; б - при прокатке с натяжением;  
в - при приложении к валкам различных (по величине и направлению)  
крутящих моментов

Рисунок 49 – Схемы опрокидывания клетки [9]

В этот момент:

$$F_{инн} = M_{пр} / R,$$

где  $M_{пр}$  – момент прокатки;  
 $R$  – радиус валка.

Опрокидывающий момент от действия этого усилия:

$$M_{опр} = F_{инн} a = M_{пр} (a/R),$$

так как величина  $a > R$ , то  $M_{опр} > M_{пр}$ .

В случае одного холостого валка, а другого рабочего момент опрокидывания создает работающий валок и  $M_{опр} = M_{пр}$ . При прокатке с натяжением

$$M_{опр} = (T_0 - T_1) \cdot a,$$

где  $T_0 - T_1$  – разность между передним и задним натяжением  $T_1$  (рисунок 49, положение II).

Возможны просто поломки клетки или привода одного из валков, чтобы создались случаи опрокидывания стана, когда  $M_{опр} = M_{пр}$  (рисунок 49, положе-

ние Ш).

Из рассматриваемых вариантов видно, что наибольший опрокидывающий момент равен  $M_{\text{опр max}} = M_{\text{пр}}(a/R)$ . Откуда усилие отрыва составляет:

$$Q = (M_{\text{опр}}/b) - (G/2),$$

где  $G$  – вес клетки;

$b$  – расстояние между болтами крепления станины.

При нагрузке на один из болтов одной стороны станины с запасом 40% расчетное усилие равно:

$$Q_p = 1,4Q/n.$$

Возникающее напряжение в болте:

$$\sigma = 4Q_p/\pi d^2.$$

где  $d$  – внутренний диаметр болта.



## 17 Конструкции прошивных станов

В отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получили двухвалковые прошивные станы с бочковидными валками. Двухопорное крепление валков в таких станах позволяет получать гильзы малых размеров (диаметром до 140 мм), и более крупных – до 400 мм и более. Оборудование прошивного стана составляет рабочую линию клетки (главную линию стана), которая включает три основные группы машин и механизмов: главный электродвигатель, передаточные механизмы и рабочую клетку. Рабочая клетка прошивного стана (рисунок 50) состоит из станины 1 рабочей клетки, барабана 2, кассеты 3, рабочего валка 4, соединительных элементов: универсальных 5 или трефовых шпинделей, коренной и главной муфт, шестеренной клетки 6.

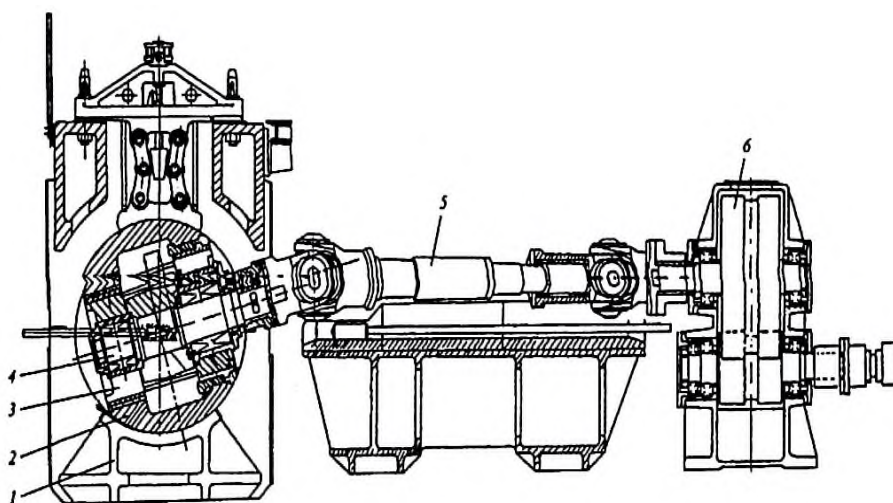
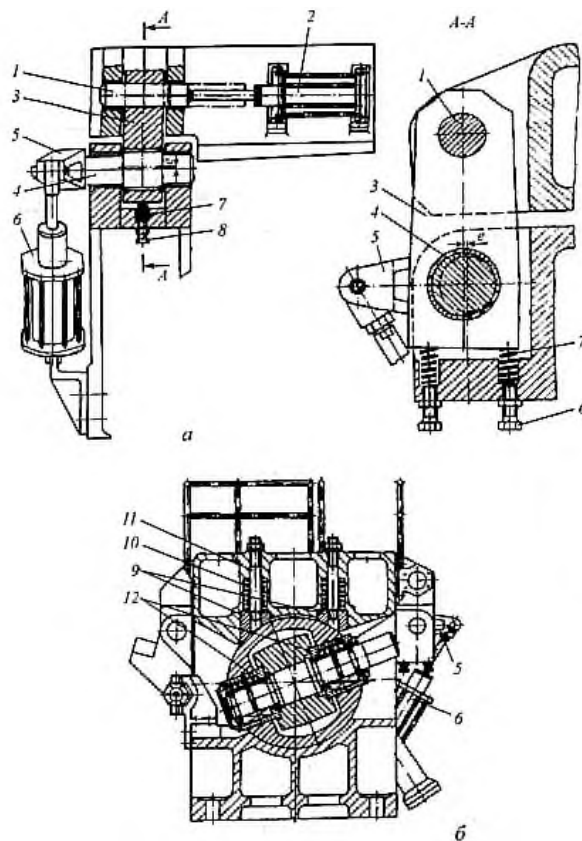


Рисунок 50 – Рабочая линия клетки прошивного стана с групповым приводом валков [1]

Литая станина (из стали 35Л) рабочей клетки воспринимает усилия прокатки и служит для контакта всех механизмов рабочей клетки. Станина состоит из нижней и верхней половин, соединенных болтами и цилиндрическими шпонками. В расточках станины размещены барабаны. Полукольцевые шпонки соединяют барабаны со станиной, в нижней ее половине оборудованы площадки для установки линейкодержателя. В расточках в верхней половине станины установлены гайки прижимов вводной проводки. В верхней половине сделаны расточки под подшипники валов механизмов поворота барабанов и окна для перевалки валков и установки механизмов стопорения барабанов. Штыри и клинья служат для крепления к станине этих механизмов. В центральной части верхней половины станины сделан проем, в котором установлены планки и клинья – направляющие траверсы механизма установки верхней линейки. Для выбора оптимального зазора между траверсой и клиньями, положение клиньев регулируют болтами. На верху станины расположены обработанные площадки для монтажа механизмов поворота, стопорения барабана и механизма установ-

ки верхней линейки. Прорез в станине со стороны выхода прокатываемых гильз закрыт щитами. В специальных проемах крышки станины установлены два механизма стопорения барабанов, удерживающих их от разворота в результате возникающих при прокатке усилий (особенно в момент захвата заготовки и окончания процесса прошивки). Механизм стопорения барабана состоит из корпуса, на котором шарнирно установлен пневмоцилиндр. На его штоке насажен клиновидный кулачок, действующий на ролики, расширяющие шарнирную систему, связанную с башмаком. Отжатие башмака осуществляется подпружиненными тягами, прикрепленными другим концом к крышке станины после выхода кулачка из роликов. В результате применения шарнирно-клиновой системы давление на башмак значительно превышает усилие, развиваемое пневмоцилиндром.

Конструкция механизма запирания крышки с фиксированием барабана с валками представлена на рисунке 51, а, б.



- 1 - засов; 2 - пневмоцилиндр перемещения засова; 3 - тяга; 4 - эксцентриковый вал; 5 - рычаг; 6 - пневмоцилиндр поворота эксцентрикового вала; 7 - пружина; 8 - винт регулировочный; 9 - планки пружинные; 10 - пружина; 11 - шпилька; 12 - кассета

Рисунок 51 – Механизм запирания крышки (а) с фиксированием барабана валка (б) [13]

До 1960-х гг. станы винтовой прокатки проектировали на небольшую производительность (угол подачи не превышал  $10^\circ$ ) с групповым приводом, в

составе которого были электродвигатель переменного или постоянного тока малой мощности, главный шпиндель, шестеренная клеть и универсальные шпиндели. В 1970-х гг. И.Н. Потапов с сотрудниками выполнил комплекс исследовательских работ, убедительно показавший возможность увеличения скорости прошивки в результате повышения углов подачи валков до  $15...20^\circ$  и целесообразность применения индивидуального привода валков, что позволило увеличить скорость выхода гильзы из стана до 0,9 м/с (до 6 гильз в минуту), а также улучшить качество гильз и готовых труб.

В современных станах винтовой прокатки с мощными электродвигателями применяют индивидуальный привод валков.

Для прошивки заготовок на больших углах подачи с использованием различных типов валков – *бочковидных, грибовидных, чашевидных* – на «Электро-стальском заводе тяжелого машиностроения» (ЭЗТМ) была разработана конструкция универсальной рабочей клетки, позволяющая регулировать углы подачи в широком диапазоне, обеспечивающая надежное крепление рабочих валков и обладающая достаточно высокой жесткостью (рисунок 52).

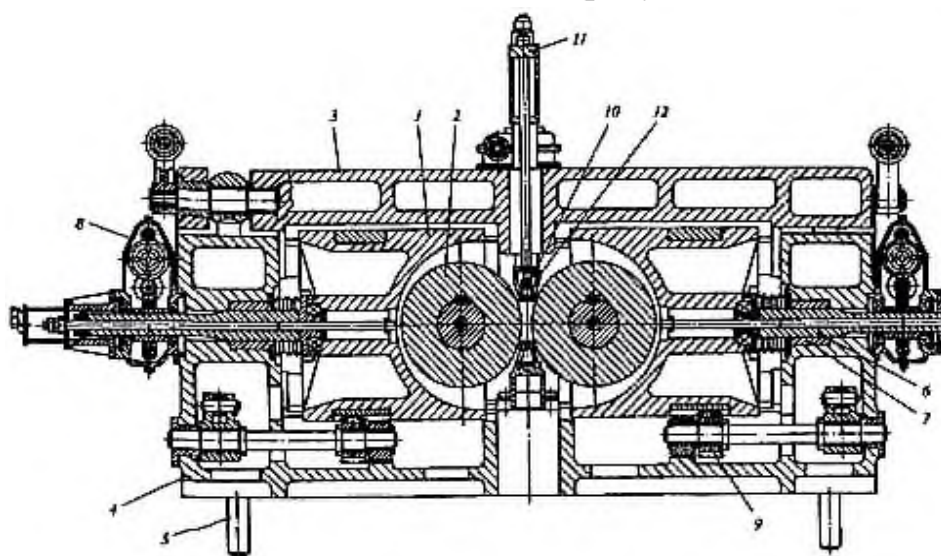


Рисунок 52 – Рабочая клеть прошивного стана винтовой прокатки [14]

Рабочая клеть включает два узла барабанов с валками, механизм откидывания крышки, два механизма установки валков, два механизма поворота барабанов, механизм установки верхней линейки, механизм перехвата стержня оправки. Барабаны 1 одновременно являются и кассетами, так как в них устанавливаются и жестко крепятся узлы валков 2. Для откидывания крышки 3 станины 4 при перевалке валков 2 в станине установлены два гидроцилиндра 5, штоки которых шарнирно соединены с крышкой. Каждый барабан снабжен механизмом осевого перемещения для изменения раствора между валками и механизмом поворота валков на угол подачи. Механизм осевого перемещения включает нажимной винт 6 с гайкой 7 и привод с червячным редуктором 8; механизм поворота барабана состоит из шестерни 9 и механического привода, установленного

отдельно от клетки. Механизм установки верхней линейки состоит из двух цилиндрических направляющих колонн 10, установленных на крышке станины. Между собой колонны жестко соединены в верхней части траверсой 11, а в нижней – линейкодержателем 12. Для перемещения линейкодержателя с колоннами и траверсой предусмотрены два нажимных винта с гайками, вращение которых осуществляется электродвигателем через червячный редуктор.

Разработана конструкция рабочей клетки, позволяющая устанавливать вместо линеек диски и прошивать заготовки на больших углах подачи.

В Великобритании, Германии, Японии в составе трубопрокатных агрегатов (ТПА) разных типов работают трехвалковые прошивные станы. ЭЗТМ разработана универсальная конструкция клетки трехвалкового стана винтовой прокатки, которая может применяться для прошивки, раскатки и калибровки заготовок и труб. На рисунке 53 показана отечественная конструкция клетки трехвалкового прошивного стана, состоящая из станины 1, крышки 2, соединенной со станиной осью 3 и клиньями 4, барабанов 5, в которые вставлены кассеты с валками 6, механизмов 7 зажима и поворота барабанов, механизмов перемещения 8 рабочих валков и гидроцилиндра 9. Крышка откидывается гидроцилиндром 9, установленным вне клетки, и опирается при открывании на наружный буфер. После откидывания крышки валки легко извлекаются. Такая конструкция рабочей клетки стана винтовой прокатки позволяет прошивать заготовки и раскатывать гильзы по двух- и трехвалковой схемам.

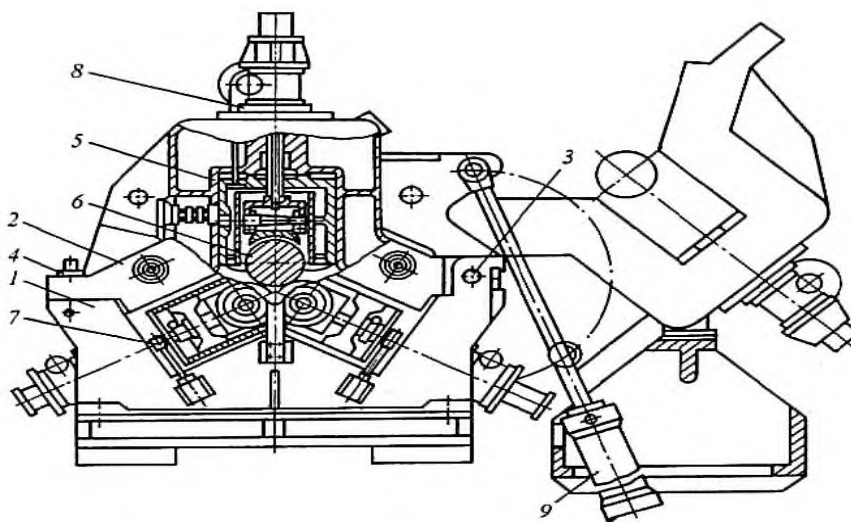
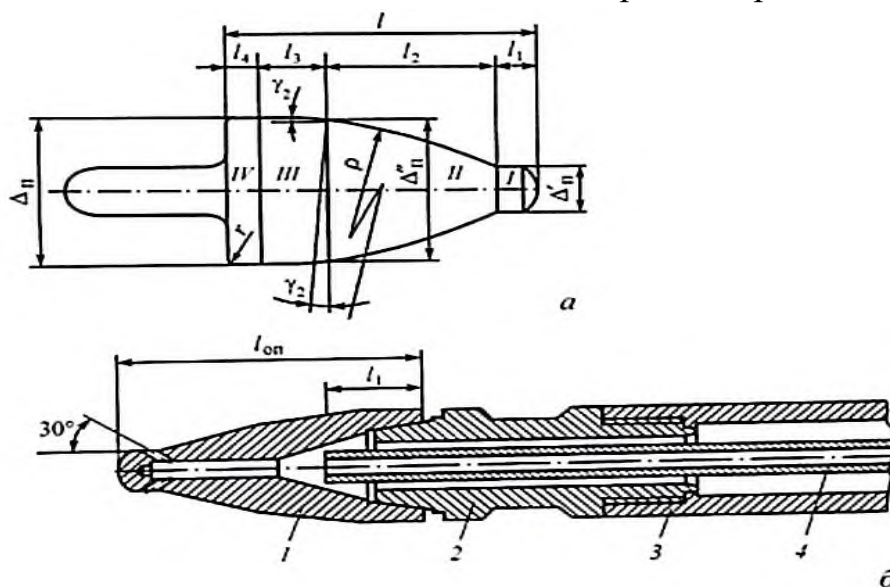


Рисунок 53 – Рабочая клетка трехвалкового прошивного стана конструкции АО «ЭЗТМ» [14]

Прошивка круглых заготовок или слитков на станах винтовой прокатки производится при помощи оправки, надеваемой на конец длинного стержня, воспринимающего все осевые усилия при прошивке. Стержень укрепляют на выходной стороне стана в головке упорного подшипника. Для прошивки применяют оправки двух типов (рисунок 54). Литые или кованные сплошные оправки надевают на конец стержня-оправкодержателя и после каждой прошивки

снимают для охлаждения их в ванне с проточной водой. Такие оправки называют сменяемыми. Оправки другой конструкции (несменяемые) выполнены в виде полого тела и охлаждаются изнутри водой, подаваемой через стержень-оправкодержатель под давлением 1,0...1,2 МПа. В паузах между прошивками заготовок оправка дополнительно охлаждается снаружи водой специальным душирующим устройством. Снимают оправку после полного ее износа (после 500...600 и более проходов). Применение таких оправок повышает производительность стана и позволяет полностью автоматизировать процесс.



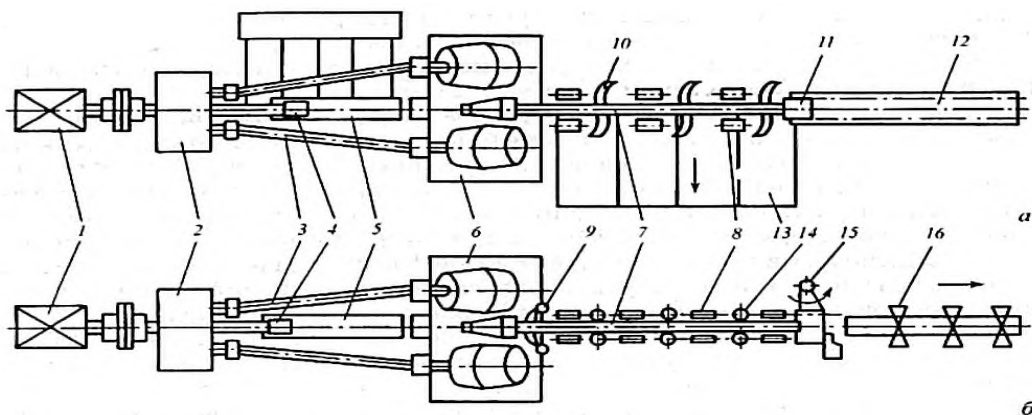
а - сменяемая; б - несменяемая водоохлаждаемая (1): 2 - переходной патрон;  
3 - стержень; 4 - трубка для подачи воды

Рисунок 54 – Оправка прошивного стана [14]

Прошивной стан может быть с боковой (рисунок 55, а) и с осевой (рисунок 55, б) выдачей прошитой гильзы на его выходной стороне. При боковой выдаче гильза после прошивки, находясь на стержне, подается вперед до упора; затем из гильзы извлекается стержень с несменяемой оправкой. Для этого головка упорного подшипника, в которой закреплен задний конец стержня, перемещается по направляющим, увлекая за собой стержень. После выведения стержня из гильзы последняя круговыми сбрасывателями убирается с оси прокатки на наклонную решетку, а головка упорного подшипника вместе со стержнем возвращается в переднее положение.

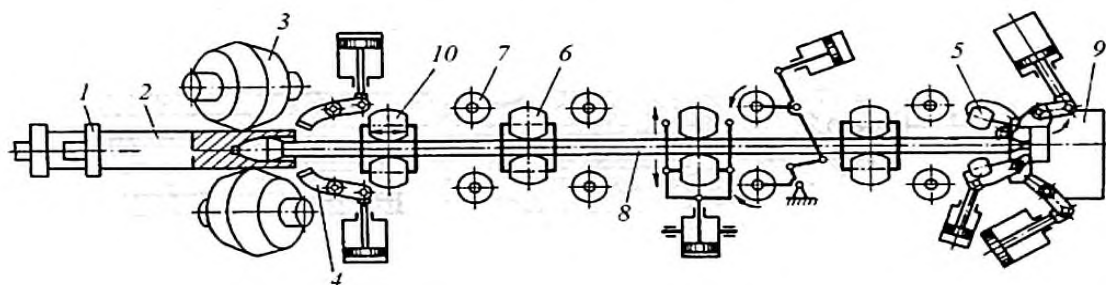
При работе на сменяемой оправке последнюю надевают на стержень в момент подхода его переднего торца к рабочей клетке стана, а оправку убирают после отвода гильзы из прошивного стана.





1 - главный двигатель; 2 - шестеренная клеть; 3 - главный шпиндель;  
 4 - заталкиватель заготовки; 5 - приемный желоб; 6 - рабочая клеть;  
 7 - стержень с оправкой; 8 - центрователь; 9 - механизм перехвата стержня;  
 10 - сбрасыватель трубы; 11 - упорный подшипник; 12 - механизм отвода  
 стержня; 13 - отводящая решетка; 14 - выдающие ролики;  
 15 - упорно-регулирующий механизм; 16 - отводящий рольганг  
 Рисунок 55 – Схемы прошивных станов с боковой (а) и осевой (б)  
 выдачей гильз [14]

В современных прошивных станах имеются действующие механизмы осевой выдачи гильз или труб из стана, которые оснащены устройствами для переднего и заднего перехватов стержня оправки (рисунок 56).



1 - вталкиватель заготовки; 2 - заготовка; 3 - рабочие валки; 4 - передний  
 перехват; 5 - задний перехват; 6 - стационарный и 10 - подвижной  
 опрокидыватели; 7 - выдающие ролики; 8 - стержень с оправкой;  
 9 - упорно-регулирующий механизм

Рисунок 56 – Схема оборудования осевой выдачи гильз современного  
 прошивного стана [14]

Один из них установлен в рабочей клети и зажимает передний конец стержня после окончания процесса прошивки, а второй находится на корпусе последнего центрователя или на упорно-регулирующем механизме и зажимает задний конец стержня непосредственно у упорной головки перед окончанием прокатки. Применение механизма перехвата заднего конца стержня позволяет открывать (отбрасывать) упорную головку сразу по окончании прошивки (со-

вместить время открывания упорной головки со временем перемещения гильзы за механизм перехвата переднего конца стержня). Это позволяет сократить время вспомогательных операций и обеспечить наиболее высокий темп работы прошивного стана.

## 18 Конструкции автоматических станов

По сортаменту прокатываемых труб, трубопрокатные агрегаты с автоматическим станом разделяют на три типа: малые, средние и большие. Характеристика автоматических станов, которые входят в состав этих агрегатов, приведена в таблице 4.

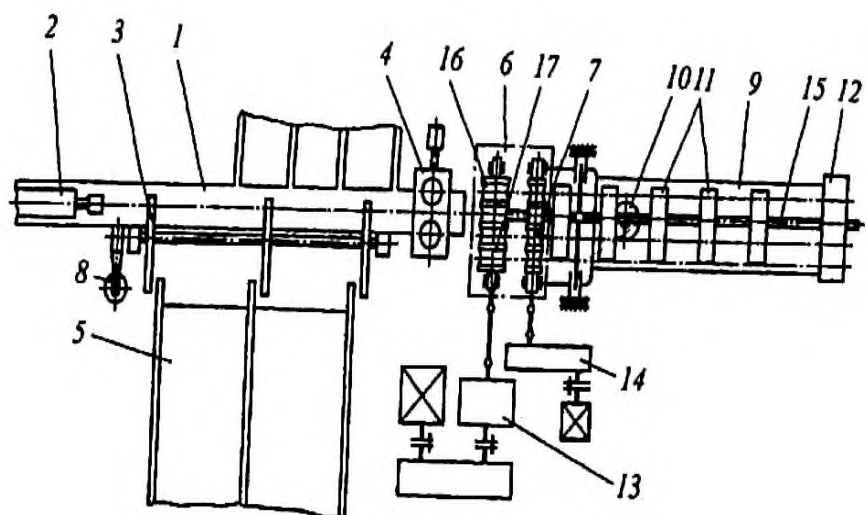
Таблица 4 – Техническая характеристика автоматических станов конструкции ЭЗТМ и УЗТМ [14]

| Параметры                                    | ЭЗТМ      |           | УЗТМ      |            |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|  | Стан 140  | Стан 140  | Стан 250  | Стан 400   |
| Диаметр валка, мм                            | 600...710 | 640...750 | 640...750 | 960...1100 |
| Длина бочки валка, мм                        | 1600      | 1680      | 1700      | 1550       |
| Число ручьев                                 | 8         | 9         | 7         | 5          |
| Частота вращения валков, мин <sup>-1</sup>   | 68...136  | 70...132  | 75        | 60...92    |
| Диаметр трубы, мм                            | 148       | 159       | 219       | 377        |
| Длина трубы, мм                              | 13,8      | 11,5      | 13,5      | 15,5       |
| Мощность привода, кВт                        | 1400      | 900       | 1100      | 1840       |
| Передаточное отношение редуктора             | 5,3       | 5,7       | 5,7       | 6,0        |
| Диаметр роликов обратной подачи, мм          | 460...540 | 450...600 | 450...600 | 720...760  |
| Длина роликов, мм                            | 1600      | 1700      | 1700      | 1550       |
| Частота вращения роликов, мин <sup>-1</sup>  | 200...535 | 100...190 | 100...190 | 83...167   |
| Мощность привода роликов обратной связи, кВт | 46        | 55        | 55        | 140        |
| Масса стана, т                               | -         | 274       | 330       | 1160       |

В состав автоматического стана входят оборудование рабочей клетки, главного привода, входной и выходной сторон, а также вспомогательное оборудование (рисунок 57).

Рабочая клетка автоматического стана (таблица 5, рисунок 58) имеет две станины открытого или закрытого типов с общей съемной крышкой. Станины соединены стяжными болтами и опираются лапами на плитовины, установленные непосредственно на фундаменте. Станины открытого типа чаще используют в станах среднего и большого типоразмеров. Подушки рабочих валков – из литой стали. Сталь для прокатки труб малых и средних диаметров оборудованы четырехрядными коническими роликовыми подшипниками, а станы для прокатки труб больших диаметров – текстолитовыми вкладышами.





1 - передний стол; 2 - вталкиватель гильзы; 3 - сбрасыватель; 4 - кантователь гильзы; 5 - наклонная решетка; 6 - рабочая клетка; 7 - ролики обратной подачи; 8-механизм перемещения; 9 - задний стол; 10 - механизм подъема нижнего ролика обратной подачи; 11 - проводки; 12 - стержневой упор; 13 - привод рабочих валков; 14 - привод роликов обратной подачи; 15 - стержень с оправкой; 16, 17 - верхний и нижний валки

Рисунок 57 – Схема расположения автоматического стана [14]

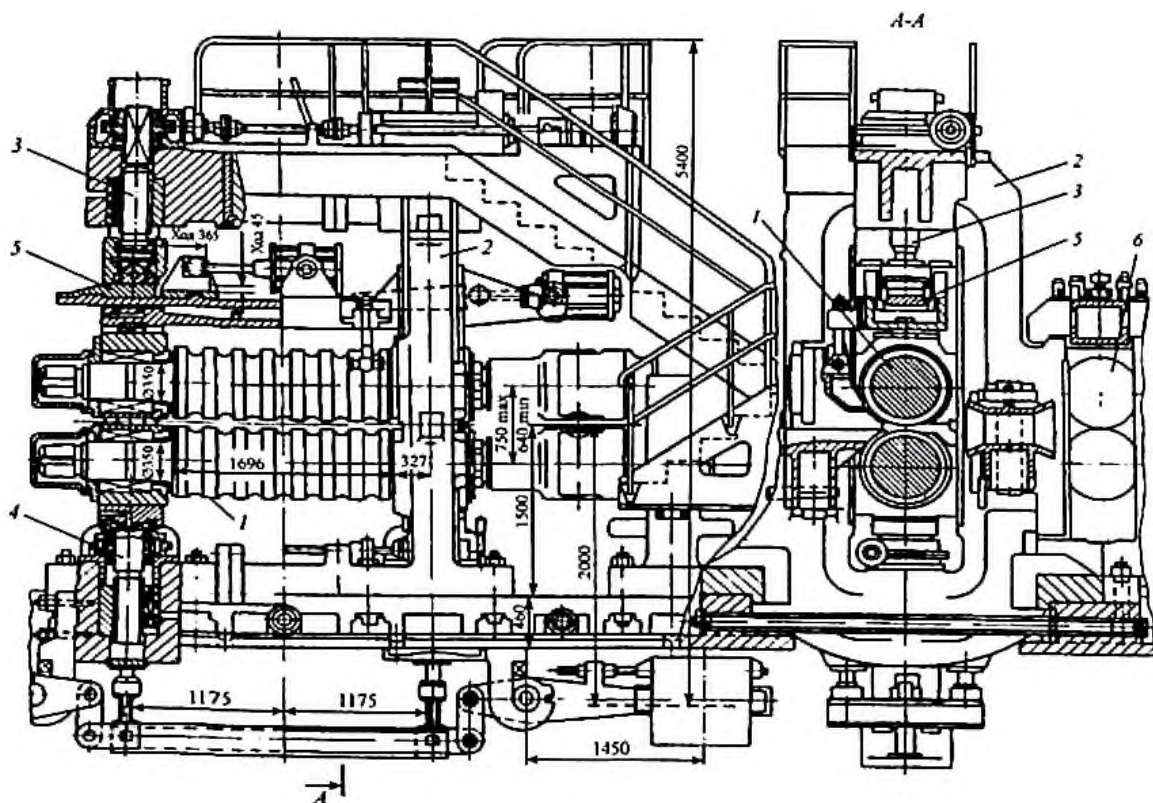


Рисунок 58 – Рабочая клетка автоматического стана [14]

Таблица 5 – Характеристика рабочей клетки автоматического стана в составе ТПА 140,250, 400 [14]

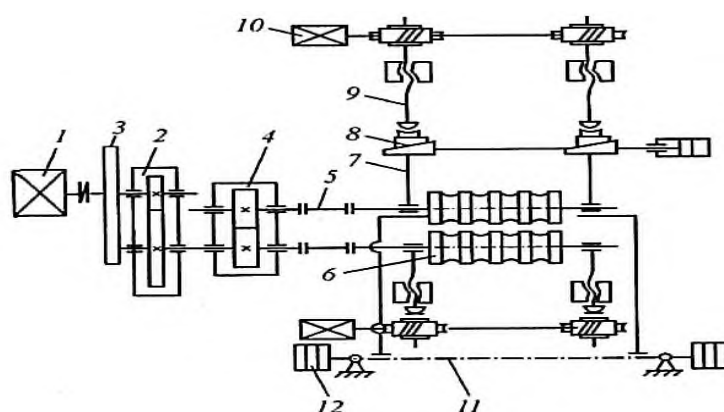
| Узел<br>1                             | Параметры<br>2                      | ТПА 140<br>3               | ТПА 250<br>4               | ТПА400<br>5                 |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Рабочая клетка                        | Диаметр прокатываемых труб, мм:     |                            |                            |                             |
|                                       | максимальный                        | 159                        | 250                        | 426                         |
|                                       | минимальный                         | 70                         | 70                         | 127                         |
|                                       | Масса рабочей клетки, т             | 165                        | 182                        | 375                         |
| Электродвигатель<br>главного привода  | Мощность, кВт                       | 880                        | 1320                       | 1840                        |
|                                       | Число оборотов, об/мин              | 400...750                  | 492                        | 375...550                   |
| Рабочие валки (1)                     | Диаметр до/после переточки, мм      | 750/650                    | 750/680                    | 1100/560                    |
|                                       | Длина бочки, мм                     | (2,35...3,0)D <sub>в</sub> | (1,25...2,3)D <sub>в</sub> | (1,45...1,55)D <sub>в</sub> |
| Станина (2)                           | Высота, мм                          | 4530                       | 4530                       | 6890                        |
|                                       | Ширина по центрам боковин, мм       | 2350                       | 2350                       | 2330                        |
|                                       | Тип                                 | закрытый                   |                            |                             |
| Верхнее<br>нажимное<br>устройство (3) | Нажимные винты:                     |                            |                            |                             |
|                                       | диаметр, мм                         | 250                        | 250                        | 360                         |
|                                       | ход, мм                             | 210                        | 210                        | 720                         |
|                                       | скорость перемещения, мм/с          | 1,86                       | 1,86                       | 1,28                        |
| Электродвигатель:                     | мощность, кВт                       | 11                         | 11                         | 19                          |
|                                       | число оборотов в минуту             | 715                        | 715                        | 600                         |
| Нижнее нажимное<br>устройство (4)     | Нажимные винты:                     |                            |                            |                             |
|                                       | диаметр, мм                         | 250                        | 250                        | 360                         |
|                                       | ход, мм                             | 60                         | 55                         | 170                         |
|                                       | скорость перемещения, мм/с          | вручную                    | вручную                    | 1,85                        |
| Электродвигатель:                     | мощность, кВт                       | -                          | -                          | 19                          |
|                                       | число оборотов в минуту             | -                          | -                          | 690                         |
| Клиновый<br>механизм (5)              | Горизонтальный ход клина, мм        | 365                        | 365                        | 370                         |
|                                       | Величина подъема верхнего валка, мм | 45                         | 45                         | 55                          |
|                                       | Радиус кривошипа, мм                | -                          | -                          | 185                         |
|                                       | Число оборотов кривошипа в минуту   | -                          | -                          | 29                          |
|                                       | Количество пневмоцилиндров, шт.     | 2                          | 2                          | -                           |
|                                       | Ход поршня, мм                      | 365                        | 365                        | -                           |

Продолжение таблицы 5

| 1                          | 2   | 3                | 4                | 5                 |
|----------------------------|---|------------------|------------------|-------------------|
|                            | Диаметр поршня, мм  | 300              | 300              | -                 |
| Ролики обратной подачи (6) | Диаметр бочки роликов, мм                                     | 450...600        | 550...600        | 720...760         |
|                            | Длина бочки роликов, мм                                       | 1700             | 1700             | 1550              |
|                            | Ход нижнего ролика (максимальный), мм                         | 80               | 80               | 130               |
|                            | Электродвигатель:<br>мощность, кВт<br>число оборотов в минуту | 68<br>1055...560 | 75<br>1000...500 | 140<br>1000...500 |

Во многих устаревших автоматических станах подшипники скольжения заменены подшипниками качения, позволяющими повысить точность и стабильность настройки станков. По высоте рабочие валки устанавливаются с помощью нажимных винтов. Положение верхнего валка регулируют двумя нажимными винтами, вращающимися от электродвигателя через редуктор и червячные передачи. Оба винта вращаются одновременно, но при настройке стана с помощью расцепной муфты можно перемещать только один винт. Уравновешивание верхнего валка осуществляется противовесами, размещенными под рабочей клетью, или пружинами, установленными сверху станины.

Главная линия автоматического стана включает рабочую клетку, универсальные шпиндели, шестигранную клетку, предохранительный шпиндель, редуктор и двигатель (рисунок 59).



1 - электродвигатель привода валков; 2 - цилиндрический редуктор;  
 3 - маховик (может отсутствовать); 4 - шестерная клетка; 5 - шпиндель;  
 6 - рабочие валки; 7 - нажимное устройство; 8 - клиновый механизм;  
 9 - нажимной винт; 10 - привод перемещения верхнего валка;  
 11 - уравновешивание верхнего валка; 12 - гидроцилиндр уравновешивания  
 Рисунок 59 – Схема главной линии автоматического стана и механизмов  
 клетки [14]

От редуктора к шестигранной клетке вращение передается через предохранительный шпиндель и соединительные муфты, вращение от шестигранных валков к рабочим передается с помощью универсальных шпинделей, снабженных уравновешивающими устройствами. Для привода рабочих валков чаще всего используют двигатели постоянного тока, позволяющие регулировать скорость прокатки, хотя известны случаи применения двигателей переменного тока (что характерно, как правило, для старых станков).

Так как машинное время каждого прохода трубы не превышает 10...12% общего времени цикла прокатки, для снижения динамики главной линии на ведущем валу одноступенчатого цилиндрического редуктора иногда по обе стороны шестерни устанавливают маховики. Вращение к редуктору от электродвигателя постоянного тока с регулируемым числом оборотов, как правило, передается через зубчатую муфту.

Современные станы оборудуют механизмами для перевалки валков, с помощью которых валки извлекают из станины, для чего их приподнимают нижними нажимными винтами и под подушки вводят брусья, которые соединены с приводными рейками через цепную передачу и реечные шестерни. После отсоединения подушек от тяг грузового уравновешивания валки вместе с подушками извлекают через окна станины. После каждого прохода оправку снимают со стержня, а трубу возвращают на переднюю сторону стана с помощью роликов обратной подачи, расположенных за рабочими валками и вращающихся в направлении, противоположном вращению рабочих валков. Наличие роликов обратной подачи – характерная особенность автоматических станков. Для возврата трубы верхний валок несколько приподнимается, образуя увеличенный холостой калибр, а нижний ролик обратной подачи, поднимаясь, прижимает трубу к верхнему ролику. В результате труба (благодаря трению роликов о трубу) передается через увеличенный по высоте калибр рабочих валков на переднюю сторону стана. Привод обоих роликов осуществляется через универсальные шпиндели и цилиндрический зубчатый редуктор от электродвигателя постоянного тока с регулируемым числом оборотов.

Верхний ролик обратной подачи во избежание трения о трубы при рабочем проходе установлен несколько выше выходящей трубы и в процессе работы по высоте не регулируется, нижний ролик находится на коромысле и во время прокатки опускается. При передаче трубы на переднюю сторону стана нижний ролик с помощью пневматического цилиндра поднимается, прижимает трубу к верхнему ролику и вместе с ним сообщает трубе обратное движение. Перед этой операцией происходит подъем верхнего ролика на определенную величину посредством клинового механизма, состоящего из сдвоенного клина, который установлен между нажимным винтом и подушкой верхнего валка; перемещение клина вдоль оси валков осуществляется с помощью горизонтально-

го пневмоцилиндра, укрепленного на одной из станин. Применяются также клиновые устройства с приводом от электродвигателя через кривошипно-шатунный механизм. При введении клина между винтами и подушками верхнего вала последний перемещается вниз, устанавливая валки в рабочее положение. При выходе клина верхний валок поднимается за счет действия уравновешивающего устройства. Подъем происходит на одну и ту же величину, достаточную для пропуска трубы на передний стол.

В рабочих клетях автоматического стана отсутствуют устройства для передачи труб на передний стол (клиновые механизмы, ролики обратной подачи и др.), так как в этих клетях такая подача не требуется. Отсутствие клинового механизма повышает жесткость клетки и способствует получению труб повышенной точности. Входная сторона автоматического стана обеспечивает прием и подачу гильзы в клетку. Кроме того, на входной стороне в гильзу вводят технологическую смазку. Между проходами также осуществляется кантовка гильзы. В автоматических станах необходимо после каждого прохода заменять оправку, точнее убирать ее с линии прокатки для возврата трубы и установки оправки для последующей прокатки. В станах тандем оправку заменяют по мере ее износа. Для выполнения этих операций имеются соответствующие механизмы.

Столы входной стороны всех станов стационарны, только для автоматических станов с многоручьевыми валками столы выполняют передвижными. При подготовке к прокатке в новом калибре их перемещают по рельсам реечным механизмом с таким расчетом, чтобы желоб входного стола оказался соосным с калибром, в котором предполагается прокатка. Стол представляет собой рамную конструкцию на катках. Поскольку гильзу на стол автоматического стана задают сбоку, то перед желобом устанавливают рычажный задержник, приводимый от пневмоцилиндра. Для боковой выдачи прокатанных труб установлены круговые сбрасыватели с приводом от автономного электродвигателя.

На переднем столе стана малого типоразмера устанавливают приводные задающе-кантующие фрикционные ролики с профилированными калибрами. При сближении роликов труба получает поступательное движение и вследствие возникающего крутящего момента поворачивается так, что большая ось ее поперечного сечения оказывается всегда в вертикальном положении. Кантовка таким механизмом проводится только перед вторым проходом; при первом проходе, когда задается круглая гильза, механизм только подает ее в калибр автоматического стана. На автоматических станах среднего и большого типоразмеров, когда гильза имеет большую массу, задачу в валки осуществляют пневматическим толкателем с длинноходовым цилиндром. Головка толкателя перемещается по желобу переднего стола. Иногда на малых станах при первом проходе (особенно при прокатке нержавеющей трубы), когда захват оказывается затрудненным, подачу гильзы в валки также производят толкателем. Осевое пе-

ремещение гильзы в станах тандем осуществляется рольгангом вплоть до захвата задающе-кантующими роликами.

Выходная сторона автоматического стана состоит из ряда сменных про-водок, направляющих движение трубы при выходе ее из валков и удерживающих стержень от продольного изгиба. В конце заднего стола расположен упор для закрепления стержня, который вмонтирован в специальную траверсу.

На выходной стороне стана тандем осуществляется осевая подача гильзы, которая конструктивно похожа на выходную сторону прошивных станов. Комплекс механизмов обеспечивает: удержание, центрирование и охлаждение стержня; регулирование осевого положения с оправкой; прием трубы из валков и транспортирование ее от стана. Стержень при снятии трубы удерживается от осевого перемещения механизмом перехвата рычажного типа.

## 19 Конструкции пилигримовых станов

Пилигримовая прокатка на пилигримовых станах – периодический процесс, во время которого за каждый оборот валков прокатывают небольшой по длине участок трубы. Затем специальным подающим аппаратом проводят осевое перемещение (подачу) трубы для последующего обжатия. Пилигримовая прокатка характеризуется высокими единичными обжатиями и значительными суммарными вытяжками (более 16) благодаря чему можно получать высококачественные трубы непосредственно из слитков.

В состав пилигримового стана входят рабочая клеть, главный привод и подающий аппарат. Пилигримовая клеть (рисунок 60) имеет две станины 2 закрытого типа в виде жестких прямоугольных рам. В проемах станин размещаются подушки рабочих валков 4 обычной для прокатных станов конструкции. Шейки рабочих валков вращаются в текстолитовых вкладышах 7, вмонтированных в подушки. Нижний валок регулируется по высоте прокладками, устанавливаемыми под подушки, либо клиньями, а верхний рабочий валок перемещается двумя нажимными винтами, вращающимися от электродвигателя 1 через червячные передачи, размещенные в верху станин. Валки уравниваются устройством 6. Со стороны входа гильзы в клеть установлено шиберное устройство 3, удерживающее гильзу при извлечении из нее дорна после окончания прокатки. Дорн свободно проходит в вырезе шибера, а гильза упирается в его выступы. Шибер опускается под действием силы тяжести, а поднимается гидроцилиндром. Перед шибером установлены подъемные ролики 5. Смена валков осуществляется устройством 8.

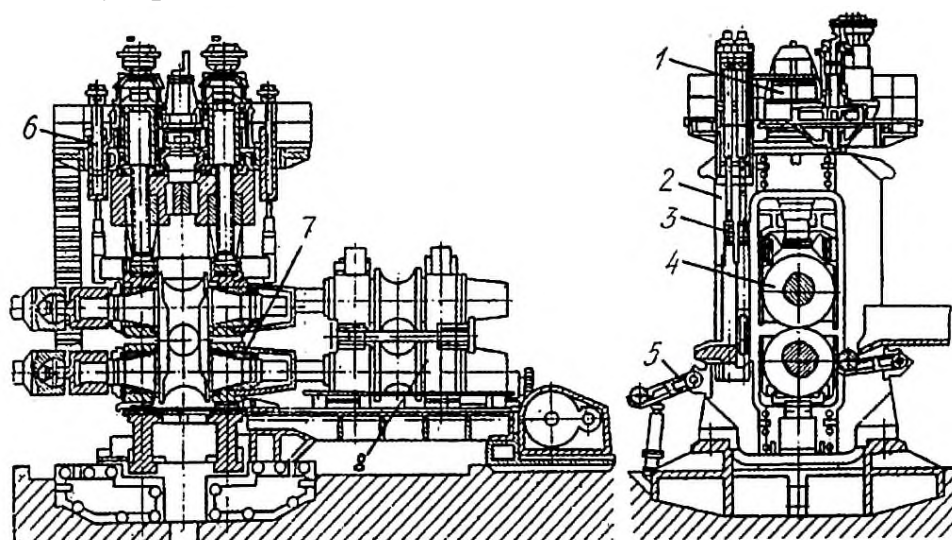


Рисунок 60 – Рабочая клеть стана пилигримовой прокатки [14]

Рабочие валки пилигримового стана имеют круглый ручей переменных по окружности ширины и глубины. При вращении валков размеры калибра в «свету» непрерывно меняются и профиль калибра за полный оборот валков по-



лучается переменным. При максимальном радиусе ручья валки образуют холостой (свободный от контакта с гильзой) участок калибра. Диаметр калибра на этом участке больше диаметра гильзы, поэтому гильза вместе с дорном продвигается подающим аппаратом на расстояние, равное подаче. При дальнейшем вращении валков размеры калибра постепенно уменьшаются, а валки начинают проводить обжатие, возрастающее с уменьшением радиуса ручья. Валки отжимают захваченный кольцеобразный участок гильзы в направлении их вращения, а гильза вместе с дорном перемещается против направления подачи. После поворота валков на  $360^\circ$  вновь раскрывается не контактирующий с гильзой участок калибра и с помощью подающего аппарата гильза снова поступает в валки. Одновременно с подачей гильза поворачивается на  $90^\circ$ . Материал рабочих валков – углеродистая сталь марки 45. Сердцевина валков мягкая, а наплавляемая рабочая поверхность твердая.

Привод валков осуществляется от электродвигателей постоянного тока. Для защиты двигателей от пиковых нагрузок во время прокатки и для накопления энергии при холостом ходе устанавливают маховики.

Подающий аппарат (рисунок 61) – наиболее ответственный механизм пилгримового стана, подающий гильзу в образующийся зев валков на определенную подачу и кантуящий ее на заданный угол. Подача должна осуществляться быстро и точно (синхронно с валками), а торможение – мягко и в строго заданном положении. Подающие аппараты снабжены пневматическим приводом подачи и гидравлическим – торможения. Аппарат представляет собой стальной литой корпус с воздушной и водяной камерами. Внутри корпуса движется плунжер, к концу которого прикреплен дорновый замок 1. На другом конце плунжера установлена шлицевая гайка 2, находящаяся в зацеплении с дрелью 3. К заданной стороне корпуса крепят коробку храпового механизма 4, а в расточки корпуса – тормозную буксу 5 и сальники, разделяющие воздушную и водяную камеры. Гильза подается в валки под действием сжатого воздуха давлением 1 МПа и выше. Поршень вместе с дорном и гильзой останавливается гидравлическим торможением. Тормозная камера всегда заполнена водой. Перемещающийся поршень вытесняет воду через клапаны, с помощью которых регулируют работу тормозного устройства. Давление воды в этом устройстве не более 0,6 МПа. Одновременно с подачей гильзы поворачивается дрель, а вместе с ней – гильза. Обычно угол поворота близок к  $90^\circ$ .



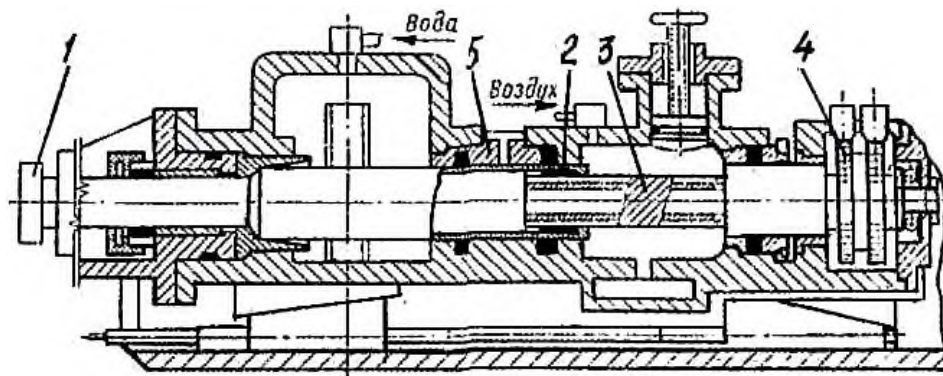


Рисунок 61 – Схема подающего аппарата [14]

После очередной подачи в процессе раскатки гильзы каретка подающего аппарата перемещается вперед гидравлическими цилиндрами, надвигаясь на поршень, а гильза вместе с дорном и поршнем движется назад. Давление воды в гидравлическом цилиндре доходит до 20 МПа. При пилигримовой прокатке дорн с гильзой-трубой совершает возвратно-поступательное движение, а раскатываемый участок трубы постепенно сходит с дорна.

## 20 Конструкции раскатных станов винтовой прокатки

Способ винтовой прокатки применяют не только для прошивки сплошных заготовок, но и для раскатки гильзы. Процесс раскатки осуществляется в двух- или трехвалковых станах на длинной (плавающей) или короткой (неподвижной) оправке. Способ также используют и для калибрования толстостенных труб без оправки. Основное преимущество раскатки гильзы в трехвалковых станах – получение труб со значительно меньшей разностенностью по сравнению со способами горячей прокатки труб в крупных калибрах. Раскатку (риллингование) в двухвалковых станах применяют для уменьшения разностенности и улучшения поверхности тонкостенных труб (устранение шероховатости и мелких поверхностных дефектов).

Раскатные станы винтовой прокатки по кинематике в основном аналогичны валковым прошивным станам. В трехвалковом стане каждый из трех равноудаленных друг от друга и от оси прокатки валков вращается в одну сторону и повернут на угол подачи  $\beta$ . Благодаря этому гильза получает вращательно-поступательное (винтовое) движение. Оси валков наклонены также к оси прокатки и образуют угол  $\delta$  (угол раскатки). При положительном значении угла  $\delta$  расстояние от осей валков до оси прокатки в направлении движения деформируемого металла непрерывно возрастает, а при отрицательном уменьшается. Так как угол  $\delta$  обычно мал (до  $7^\circ$ ), расчет составляющих скоростей прокатки с достаточной степенью тонкости можно осуществлять по уравнениям:

$$u_{т.х} = \frac{\pi n R_x \cos \beta}{30};$$
$$u_{о.х} = \pi n R_x \sin \beta / 30,$$

где  $u_{т.х}$  - составляющая окружной скорости валков  $u_x$  в тангенциальном направлении;

$u_{о.х}$  - составляющая окружной скорости валков  $u_x$  в осевом направлении;

$n$  - частота вращения валков;

$R_x$  - радиус валка в рассматриваемом сечении  $x-x$ ;

$\beta$  - угол расположения валков к оси прокатываемой заготовки.

Истинные скорости прокатки определяют с учетом осевого и тангенциального скольжения в очаге деформации раскатного стана. Коэффициент осевой скорости изменяется в диапазоне  $0,8 \div 1,2$ , а коэффициент тангенциальной скорости близок к единице.

Специфическая особенность раскатного стана – наличие на валках деформирующего гребня, на котором происходит основная деформация трубы, составляющая 60 – 80 % от суммарной. Наличие гребня позволяет осуществ-

лять деформацию трубы без существенного увеличения ее периметра.

Очаг деформации металла в трехвалковом раскатном стане для раскатки гильз и трубы на длинной подвижной оправке (рисунок 62) обычно состоит из конуса захвата 1, гребня 2, раскатного или калибрующего конуса 3 и выходного конуса 4.

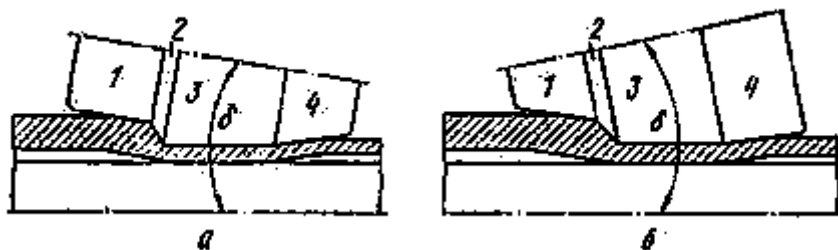


Рисунок 62 – Схема очага деформации трехвалкового раскатного стана при уменьшающемся (а) и увеличивающемся (б) в направлении прокатки расстоянии между осью вала и осью прокатки [11]

После осуществления захвата гильзы происходит уменьшение ее диаметра (редуцирование), а при дальнейшем продвижении металла – обжатие стенки гильзы. Основная деформация осуществляется гребнем валков.

На раскатном участке очага деформации выравнивается толщина стенки, а на калибровочном участке уменьшается овализация и происходит округление профиля.

В очаге деформации существуют две зоны: зона винтовой прокатки полого тела без оправки (редуцирование) и зона винтовой прокатки на оправке.

Условия деформации металла в этих зонах приближены к условиям в аналогичных зонах прошивного стана. Можно допустить, что при редуцировании толстостенных труб схема деформации сходна со схемой прошивки сплошной заготовки.

На трехвалковых станах можно прокатывать только относительно толстостенные трубы с отношением  $D/S \leq 10 \div 11$ . Дальнейшее увеличение этого отношения приводит к образованию характерных треугольных раструбов и защемлению труб в валках.

Расчет усилий на валки раскатного стана производят по той же методике, что и для прошивных станов, по формуле:

$$F = \sum (b'_x + b'_{x+1}) \Delta l / 2,$$

где  $\Delta l$  - длина ряда участков;

$b'_x$  - ширина контактной поверхности в сечении  $x-x$ ;

$b'_{x+1}$  - ширина контактной поверхности в сечении  $x+1 - x+1$ .

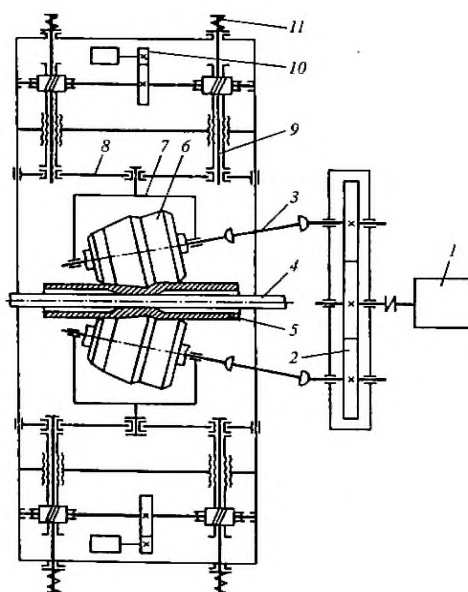
Определяют площадь контактной поверхности металла с валками, принимая  $\xi = 1,03 \div 1,05$ . Среднее давление при раскатке можно определить по формуле Прандтля:

$$p_{\text{ср}} = 2\sigma_{\text{T}}(1 + 0,5\pi) = 5,14\pi,$$

где  $\sigma_{\text{T}}$  - предел текучести металла при данной температуре раскатки.

Согласно экспериментальным данным среднее давление при раскатке составляет 100÷150 МПа, а при прокатке тонкостенных труб в риллинг-станах достигает 200÷250 МПа. Усилие на валки при раскатке труб диаметром до 200 мм составляет 0,2÷0,5 МН.

В состав трехвалкового раскатного стана входят рабочая клетка, главный привод, состоящий из шестеренной клетки, шпинделей, электродвигателя постоянного тока и оборудование входной и выходной сторон. Главная линия трехвалкового раскатного стана может располагаться со стороны, как входа, так и выхода трубы из очага деформации. Она состоит из рабочей клетки с гребневыми валками и привода (индивидуального или группового) (рисунок 63).



- 1 - двигатель главного привода; 2 - шестеренная клетка; 3 - шпиндель;  
 4 - оправка; 5 - гильза; 6 - рабочий валок; 7 - кассета рабочего валка;  
 8 - промежуточный вал; 9 - нажимное устройство; 10 - привод механизма сведения-разведения валков; 11 - пружина

Рисунок 63 – Схема трехвалкового раскатного стана винтовой прокатки [14]

Перестройка стана на прокатку труб большего или меньшего диаметра производится радиальным перемещением барабанов. В трехвалковых раскатных станах нет технологического инструмента, содержащего тангенциальную раскатку. При  $D_o/S_o > 11$  на концевых участках трубы появляются раструбы, осложняющие процесс прокатки.

Рабочие клетки трехвалковых раскатных станов принципиально различаются только способом установки валков и регулирования угла подачи. В станах старой конструкции величину угла подачи изменяют при замене подушек валков. Каждый комплект подушек предназначен для определенного угла подачи, например,  $3^\circ$  или  $6^\circ$ . В станах новой конструкции угол подачи регулируется плавно.

Рабочая трехвалковая клетка раскатного стана винтовой прокатки показана на рисунке 64.

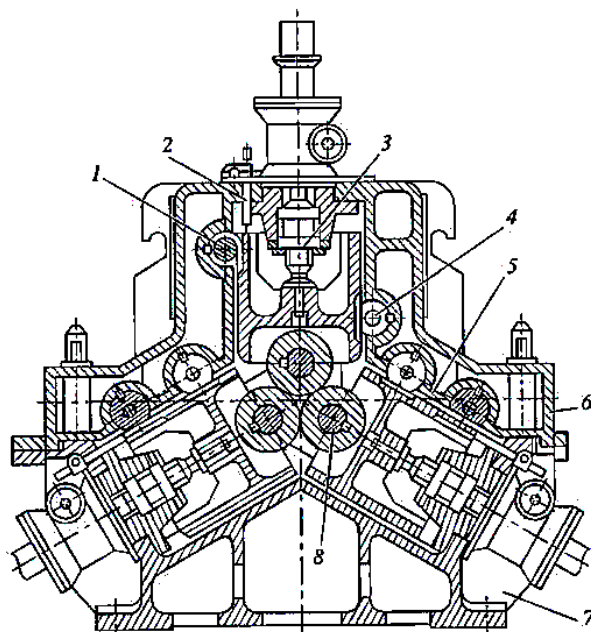


Рисунок 64 – Трехвалковая клетка раскатного стана [14]

Клетка состоит из станины 7 с крышкой 6 для облегчения перевалки валков. В станине установлены барабаны 5 с рабочими валками 8. Такое крепление позволяет усилить жесткость валковой системы. Перемещение барабанов с валками осуществляется нажимным устройством 3, состоящим из двигателя, червячного редуктора и нажимного винта. С барабаном смонтировано уравнивающее устройство 2. Установка валков на угол подачи проводится рычажным механизмом 4 и стопорится устройством 1. На входной стороне стана имеется устройство для сборки гильзы с оправкой и ввода их в клетку. На выходной стороне раскатного стана имеются трехроликовые центrovатели для центровки трубы и оправки во время прокатки и устройства для осевого перемещения труб с оправкой после прокатки.

## 21 Конструкции редуцированных и калибровочных станов

Редуцирование труб применяют почти на всех трубопрокатных агрегатах, а также при изготовлении труб сваркой. Этот способ прокатки рассчитан на получение труб малых размеров, производство которых экономически нецелесообразно, либо практически неосуществимо другими способами.

Редуцирование труб проводят на многоклетевых станах без применения оправки. Редуцирование осуществляется с межклетевым натяжением и без натяжения (свободное редуцирование). Применение натяжения уменьшает диаметр трубы – утоняет стенку. При редуцировании тонкостенных труб натяжение не приводит к положительным результатам, поэтому для труб диаметром более 70 мм проводится редуцирование без натяжения.

По данным исследований ряда авторов стенка трубы с отношением  $S/D < 1$ , отношением  $S/D > 0,35$  всегда утоняется. Изменение толщины стенки труб с отношением  $S/D = 0,1 \div 0,35$  зависит от степени редуцирования и при определенных условиях деформации толщина стенки может сохраняться неизменной.

Натяжение при редуцировании оказывает значительное влияние на характер изменения толщины стенки. Степень натяжения оценивается коэффициентом пластического натяжения  $z$ :

$$Z = \sigma/k; k = 1,15\sigma_T,$$

где  $\sigma$  – осевое напряжение в металле;

$\sigma_T$  – предел текучести металла при температуре прокатки.

Зависимость изменения толщины стенки от степени редуцирования с натяжением можно установить по формуле:

$$s/s_0 = (D_{то}/D_T)^a,$$

где  $a = 0,5 - [1 - (3z/\sqrt{4 - 3z^2})]$ ;

$D_{то}$  – диаметр трубы до редуцирования;

$D_T$  – диаметр трубы после редуцирования.

При коэффициенте пластического натяжения  $z = 0,57$  толщина стенки остается неизменной. При  $z < 0,57$  происходит утолщение стенки. При  $z > 0,57$  стенка утоняется.

Для определения производительности стана необходимо значение коэффициента вытяжки. По закону постоянства секундных объемов в случае свободного регулирования можно записать

$$\frac{n_i}{n_{i-1}} = \frac{D_{i-1}}{D_i} \lambda_i,$$

где  $n_i$  и  $n_{i-1}$  – число оборотов в минуту в  $i$ -той и  $(i-1)$  – в клетках соответственно;

$D_i$  и  $D_{i-1}$  – катающие диаметры тех же клеток;

$\lambda_i$  – вытяжка в  $i$ -ой клетки.

С появлением натяжения величина катающих диаметров изменяется из-за возникающей пробуксовки, которую учитывают коэффициентом  $\xi$ :

$$\frac{n_i}{n_{i-1}} = \frac{D_{i-1} \lambda_i}{D_i \xi_i}.$$

Давление при свободном редуцировании определяют по приведенной ранее формуле, в которую входит коэффициент  $\eta$ :

$$\eta = 1 + 0,5 \frac{D_{Ti}}{l_d} \sqrt{\frac{s_i}{D_{Ti}}},$$

где  $l_d = \sqrt{R_{\min} \Delta D_{Ti}}$  – длина очага деформации в  $i$ -ой клетки;

$\Delta D_{Ti}$  – обжатие трубы по диаметру в  $i$ -ой клетки.

Для определения усилия  $P$  при свободном продуцировании наряду с давлением одним из известных способов необходимо найти площадь  $F$  контактной поверхности, например, по формуле:

$$F = (0,90 \div 0,95) l_d D_{T, \text{cp}} \sin(\pi/a),$$

где  $a$  – число витков в клетки;

$D_{T, \text{cp}}$  – средний диаметр трубы.

Тогда усилие равно  $P = pF$ .

Давление при редуцировании с натяжением можно определить по формуле:

$$p = \gamma k \frac{2s}{D_{T, \text{cp}}} \left[ 1 - \left( \frac{1}{3} z_{\text{п}} + \frac{2}{3} z_{\text{з}} \right) \right],$$

где  $z_{\text{п}}$  и  $z_{\text{з}}$  – коэффициент переднего и заднего натяжения.

Анализ формулы показывает, что при редуцировании с максимальным натяжением давление может снизиться примерно в три раза.

Расчет редуцированных клеток на прочность следует проводить для случая свободного редуцирования, когда усилия, действующие на валки, максимальны.

Крутящий момент в каждой клетке при отсутствии натяжения определяют по формуле:

$$M = P l \varphi,$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий положение точки приложения равнодействующей (при свободном редуцировании  $\varphi = 0,5$ ).

При наличии натяжения появляются осевые усилия, которые необходимо учитывать при подсчете момента. Суммарный крутящий момент может быть рассчитан по формулам:

для двухвалкового стана:

$$M = P D_{Ti} \mu \left[ \frac{D_{и}}{D_{Ti}} \left( \frac{\pi}{2} - 2\theta_k \right) - (1 - 2 \sin \theta_k) \right];$$

для трехвалкового стана:

$$M = P D_{Ti} \mu \sqrt{3} \left[ \frac{D_{и}}{D_{Ti}} \left( \frac{\pi}{3} - 2\theta_k \right) - \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - 2 \sin \theta_k \right) \right],$$

где  $\theta_k$  – угол, характеризующий катающий диаметр;

$\mu$  – коэффициент трения;

$D_{и}$  – идеальный диаметр валка (расстояние между осями сведенных валков).

Калиброванные валки имеют в своем составе от трех до двенадцати рабочих клеток обычно двухвалкового типа. Клетки устанавливают под углом  $45^\circ$  к горизонту и под углом  $90^\circ$  друг относительно друга, что улучшает условия деформации труб.

Современные калибровочные станы оборудованы, как правило, индивидуальным приводом валков (рисунок 65). В этом случае стан состоит из рабочих клеток 1, вращение валков в которых передается от электродвигателя 2 через комбинированный редуктор 3 и зубчатые шпиндельные соединения 4. Рабочие клетки выполняются со станинами закрытого типа. В них рабочие валки размещены на подшипниках качения.



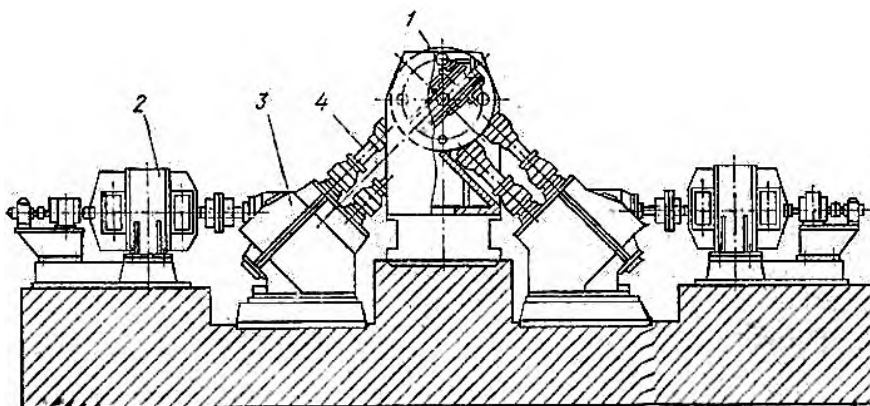
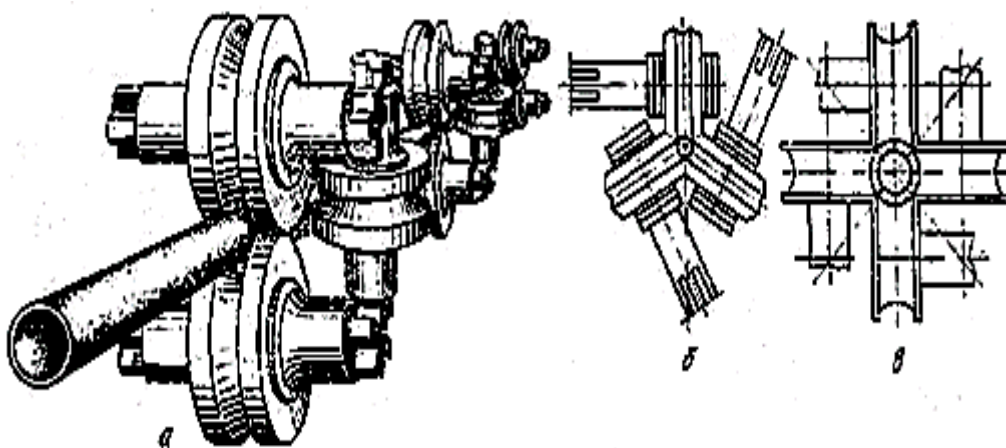


Рисунок 65 – Калибровочный (редукционный) стан трубопрокатного агрегата 110 [11]

Число клетей в редукционных станах достигает 29. Существует несколько типов редукционных станков, отличающихся системой привода валков (групповой или индивидуальной), числом рабочих валков в клетке (двух-, трех- и четырехвалковые) (рисунок 66) и расположением клетей (горизонтально-вертикальное или наклонное – под углом  $90^\circ$  друг к другу и под углом  $45^\circ$  к горизонту). Известно консольное и двухопорное крепление валков в клетке.



а - двухвалковые; б - трехвалковые; в - четырехвалковые

Рисунок 66 – Схема расположения валков в клетях редукционных станков [11]

Рабочая клетка редукционного стана с двухопорным креплением валков (рисунок 67) представляет собой круглую станину 1 закрытого типа, в расточках которой установлены подшипники 2 валков 3.

Схема индивидуального привода редукционных станков аналогична приводу калибровочного стана, но групповой привод не применяется, поскольку он крайне затрудняет ведение процесса прокатки труб с натяжением.

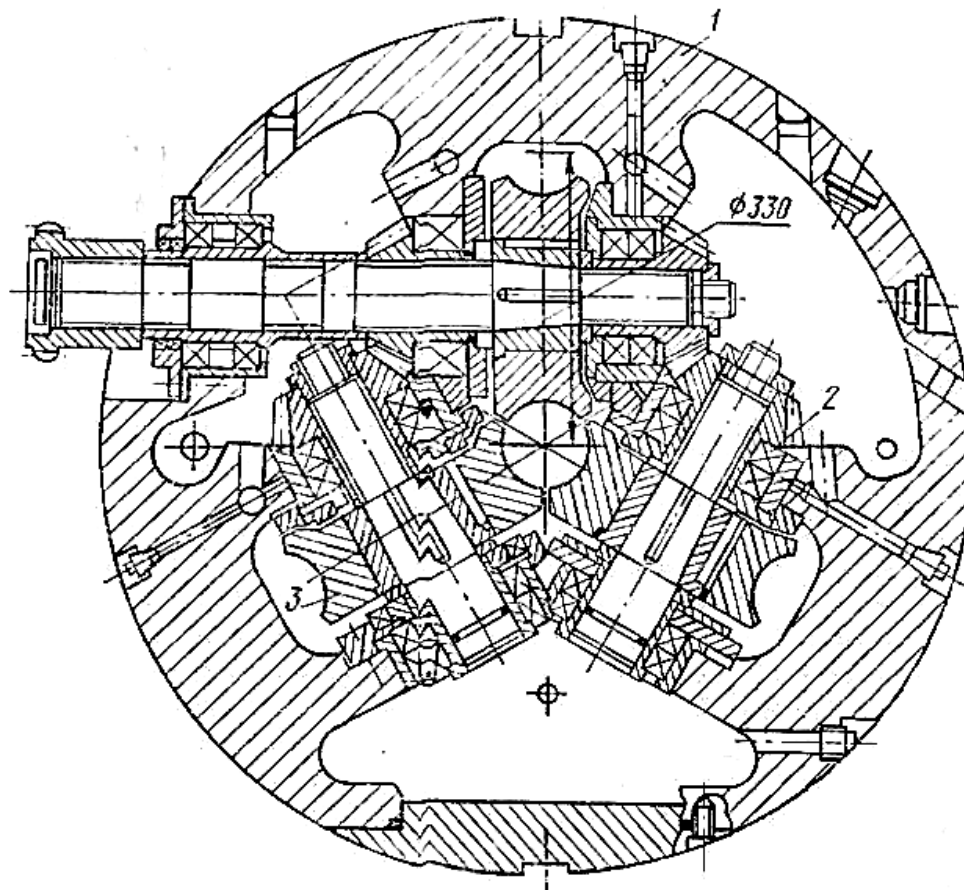


Рисунок 67 – Трехвалковая рабочая клеть редукционного стана [11]

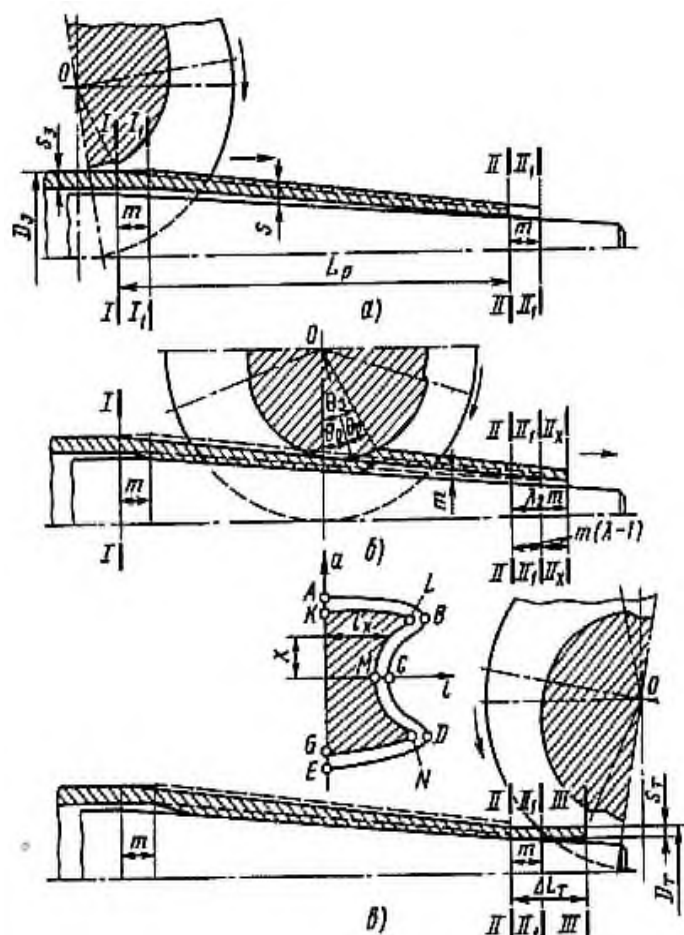
Широкое применение находят также редукционные станы с дифференциально-групповым или дифференциально-гидравлическим приводом. При дифференциально-групповом приводе (рисунок 68) используют два двигателя: главный и вспомогательный. Каждые две смежные клетки имеют один дифференциальный редуктор. Вращение от главного двигателя передается коническим шестерням 1 и 2, промежуточному валу с цилиндрической шестерней 3, затем шестерне 4, находящейся на одном валу с ведущей шестерней 6 дифференциала последующей клетки. Шестерня 4 вращает шестерню 5, которая закреплена на валу ведущей шестерни 7 дифференциала предыдущей клетки. Ведущие шестерни 6 и 7 через сателлитные шестерни 8 и 9 передают вращение ведомым шестерням 10 и 11 дифференциалов и рабочим валкам обеих клеток.



## 22 Конструкции станов для холодной прокатки труб

Холодную прокатку труб (ХПТ) производят на станах: холодной продольной прокатки труб периодического действия (валковых (ХПТ), роликовых (ХПТР) и планетарных), непрерывных (НХПТ), поперечной прокатки (ППТ), волочильных и редуционных. Станы периодического действия и волочильные как более экономичные и маневренные наиболее распространены. Станы поперечной прокатки служат для изготовления тонкостенных труб большого диаметра и небольших партий прецизионных труб. Редуционные станы обычно устанавливают в составе трубосварочных агрегатов. Прокатка труб на валковых станах осуществляется двумя, реже – тремя, рабочими валками, имеющими возвратно-поступательное и возвратно-качательное движения.

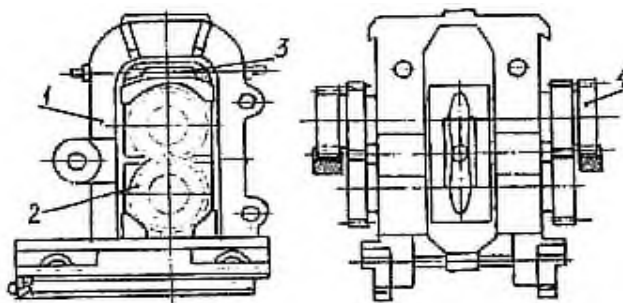
Валки стана перемещаются вдоль оси прокатки, обкатывая и обжимая заготовку (рисунок 69).



а-в - положение валков соответственно исходное, промежуточное и конечное

Рисунок 69 – Схема холодной прокатки труб на валковом стане [14]

Поворот валков происходит с помощью закрепленных консольно шестерен (рисунок 70), которые находятся в зацеплении с неподвижной рейкой.



1 - станина; 2 - узел рабочего вала; 3 - клиновый механизм;  
4 - шестерня приводов валков

Рисунок 70 – Рабочая клетка стана ХПТ [14]

После перемещения из одного крайнего положения в другое валки реверсируются и возвращаются в исходное положение. Цикл повторяется с частотой  $20...250 \text{ мин}^{-1}$  в зависимости от типоразмера стана (чем крупнее стан, тем меньше скорость движения клетки).

Непосредственно на валках или калибрах, укрепленных в валках, нарезан ручей переменного сечения. В исходном положении валков ручей образует окружность, диаметр которой намного больше диаметра прокатываемой заготовки. По мере передвижения и разворота валков диаметр ручья уменьшается до диаметра готовой трубы  $D_T$ .

Деформируемую часть заготовки приближенно можно представить в виде усеченного конуса, диаметры основания которого равны диаметрам заготовки  $D_3$  (сечение  $I_1-I_1$ ) и готовой трубы  $D_T$  (сечение  $II_1-II_1$ ), а высота - ходу валков  $L_p$ . Этот конус называют конусом деформации, и он является разверткой переменного ручья калибра.

Прокатку заготовок выполняют на конической оправке. Перед каждым двойным ходом валков, соответствующим их перемещению из одного крайнего положения в другое и обратно, проводится подача заготовки на определенное расстояние. В этот момент калибр выходит из контакта с заготовкой, и она свободно продвигается по оправке в осевом направлении через образовавшийся зев валков. Поворот заготовки вокруг своей оси осуществляется, обычно, в конечном положении клетки, а также в момент образования зева валков. Для сообщения заготовке необходимых движений служит система механизмов подачи и поворота.

Деформация, или *обжатие заготовки*, при установившемся процессе прокатки выполняется следующим образом. В исходном положении рабочей клетки механизмом подачи заготовка перемещается на расстояние  $m$  (подача) в сторону выхода рабочей трубы, при этом сечение  $I-I$  занимает положение  $I_1-I_1$ , и, соответственно, сечение  $II-II$  – положение  $II_1-II_1$ .

Объем металла, заключенный между сечениями  $I-I$  и  $I_1-I_1$ , называют объемом подачи. Он равен произведению площади поперечного сечения заго-

товки на подачу  $m$ . Поскольку прокатку ведут на конической оправке, то во время подачи образуется зазор между внутренней поверхностью рабочего конуса и оправкой. Поэтому при движении клетки вперед валок, обкатывая рабочий конус, вначале редуцирует заготовку по диаметру до соприкосновения с оправкой, а затем обжимает ее по стенке. Таким образом, мгновенный очаг деформации состоит из участка редуцирования трубы по диаметру, ограниченно-го центральным углом  $\theta_p$ , и участка обжатия стенки, определяемого углом  $\theta_o$ . Оба этих угла образуют угол захвата  $\theta_3$ . По мере продвижения рабочей клетки участки рабочего конуса, расположенные перед калибрами, смещаются вперед и сечение  $\Pi_1 - \Pi_1$  занимает промежуточное положение  $\Pi_2 - \Pi_2$ . Расстояние между сечениями  $\Pi - \Pi$  и  $\Pi_2 - \Pi_2$  будет равно произведению  $m\lambda_x$ , где  $\lambda_x$  – текущее значение коэффициента вытяжки. Отрезок заготовки между сечением  $\Pi_1 - \Pi_1$  и  $\Pi_2 - \Pi_2$ , определяемый смещением металла в результате обжатия, равен  $m(\lambda_x - 1)$ .

При достижении конечного положения клеть возвращается назад, в исходное положение. Во время обратного хода происходит обжатие рабочего конуса за счет упругой деформации клетки. Таким образом за двойной ход клетки раскатывается поданный объем заготовки

$$V_1 = \pi s_3(D_3 - S_3)m$$

и образуется отрезок трубы длиной  $\Delta L_T$ , объем которого равен

$$V_T = V_3 = \pi s_T(D_T - s_T) \Delta L_T.$$

Отсюда длина отрезка готовой трубы

$$\Delta L_T = s_3(D_3 - S_3)m/s_T(D_T - s_T)\lambda_\Sigma m,$$

где  $\lambda_\Sigma$  - суммарный коэффициент вытяжки.

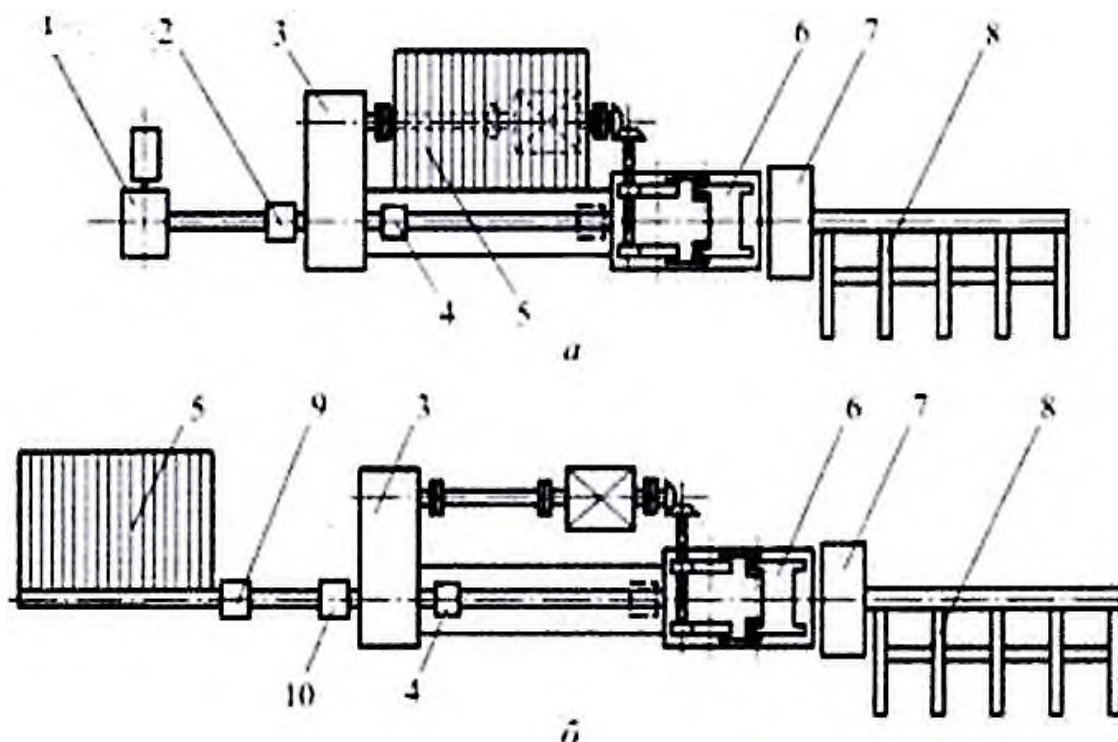
Основные достоинства станов ХПТ – большие разовые обжатия (до 80...90% за один пропуск) и возможность прокатки труднодеформируемых металлов вследствие благоприятной схемы напряженного состояния.

Изготовителями станов являются: в России – ПО «Электростальтяжмаш», за рубежом - «Mannesmann» (Германия). Немного станов, в основном для цветной металлургии, производят «Montbard» (Франция) и «Wean Industries» (США).

В России станы классифицируют по *максимальному диаметру готовых труб*: ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-90, ХПТ-120, ХПТ-250 и ХПТ-450, зарубежные станы – по *наибольшему наружному диаметру заготовки*.

В зависимости от *способа загрузки заготовок* различают два вида компоновки механизмов станков – с боковой и торцевой загрузками.

На станках с боковой загрузкой заготовок (рисунок 71, а) технологические операции выполняются в следующем порядке: пакет заготовок краном загружают на приемный стол 5, после чего дозирующими устройствами заготовки поочередно передаются на ось прокатки. Во время передачи патрон заготовки 4 и патрон стержня оправки 2 вместе со стержнем и оправкой должны находиться в крайнем заднем положении.



а - с боковой загрузкой труб; б - с торцевой загрузкой заготовок

Рисунок 71 – Схемы станков холодной прокатки труб [14]

Размещенная по оси прокатки заготовка центрируется люнетами. Затем включают привод патрона стержня оправки 1, и закрепленная в патроне 2 оправка, продвигаясь сквозь заготовку, устанавливается в исходное положение в зоне деформации металла. Включается главный привод стана, сообщаящий возвратно-поступательное движение рабочей клетки 6 и прерывистое движение патрону 4 с зажатой в нем заготовкой, а, следовательно, - заготовке через механизмы подачи и поворота 3. Прокатка трубы происходит до тех пор, пока патрон 4 не дойдет до своего крайнего переднего положения. В этот момент главный привод стана отключается, а патроны заготовки и стержня оправки возвращаются в исходное положение, освобождая место для очередной заготовки. Цикл прокатки повторяется. Готовые трубы разрезают на мерные длины летучей пилой 7 и укладывают в приемные карманы 8.

При боковой загрузке необходима остановка стана при его перезарядке.

Частая остановка стана приводит к существенному снижению производительности, нарушению теплового режима прокатки и многократному обжатию трубы при остановке. Последние два обстоятельства могут влиять на качество и точность прокатываемых труб, а особенно труб с тонкими стенками. При боковой загрузке нельзя вести прокатку на цилиндрической оправке и оправке с малой конусностью, так как оправку трудно извлечь из зоны деформации и совершенно невозможно вернуть в исходное положение.

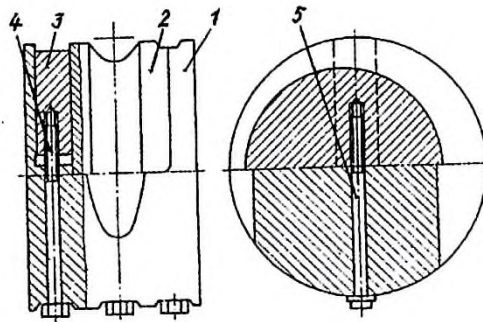
*Достоинство боковой загрузки* – возможность визуального осмотра поверхности оправки во время перезарядки заготовок.

При *торцевой загрузке* (рисунок 71, б) стол заготовок 5 располагают в конце стана. Обычно стержень оправки удерживается двумя зажимами 9 и 10, работающими попеременно. Заготовка, попадая на ось прокатки подающими роликами или другими транспортными средствами продвигается через открытый зажим стержня 9, который автоматически закрывается после прохода заготовки, а другой зажим 10 открывается, и заготовка попадает в зону действия патрона подачи 4. Такая схема приводит к увеличению длины стана примерно на длину заготовки. Однако механизм отвода стержня оправки не требуется. Время остановки стана на перезарядку заготовки значительно сокращается. При торцевой загрузке заготовок можно исключить остановку стана для его перезарядки очередной заготовкой. С этой целью для обеспечения непрерывной работы станом, применяют *сдвоенные патроны подачи*. Передний и задний патроны работают поочередно. Один из патронов зажимает заготовку и прерывисто движется вперед в направлении рабочей клетки. В это время другой патрон возвращается в исходное положение. Затем их функции меняются. Чтобы заготовка всегда была зажата в одном из патронов, предусматривают одновременную их работу в прерывистом режиме – «на подачу» - в местах крайних положений.

Рабочие валки станом ХПТ непосредственно не контактируют с прокатываемой трубой. Обжатие металла осуществляется специальными калибрами, установленными на рабочих валках. Применение сменных калибров значительно уменьшает массу технологического инструмента и время на перевалку стана. Распространены три вида калибров: *полудисковые, кольцевые и подковообразные*. Калибры изготовляют из стали ШХ-15 и 60ХФА. После термообработки твердость поверхности ручья калибра должна быть не менее 56...60 НРС. Рабочие валки и шестерни изготовляют из стали 35ХМ с поверхностной закалкой зубьев до твердости не менее 45 НРС.

*Полудисковые калибры* устанавливают в пазах рабочих валков (рисунок 72). Прижатие калибра в пазу валка осуществляют клиньями.



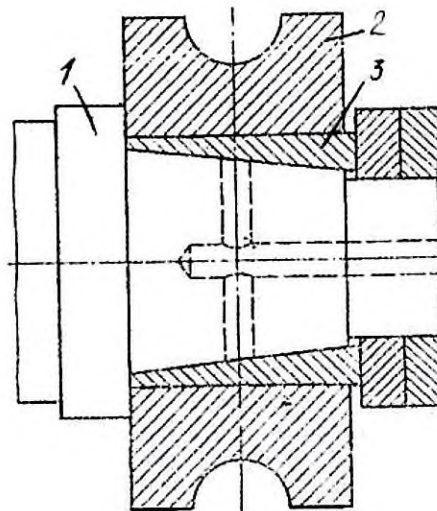


1 - валок; 2 - калибр; 3 - клин; 4, 5 - болты соответственно клина и калибра

Рисунок 72 – Калибр-полудиск [1]

Полудисковый калибр занимает ровно половину окружности валка и тем самым определяет размеры валка, массу рабочей клетки, а также длину ее хода. Поскольку производительность станов во многом определяется числом ходов рабочей клетки, которые в свою очередь, зависят от ее массы, целесообразно иметь возможно меньшую массу клетки и наибольшую длину хода. Стремление увеличить протяженность зоны деформации без увеличения диаметра валков и тем самым повысить производительность станов, привело к созданию новых типов калибров, и прежде всего кольцевых калибров.

*Кольцевые калибры* (рисунок 73) позволяют почти в два раза увеличить зону деформации, они удобны в изготовлении, но для смены калибров требуется демонтаж рабочих валков. Обычно замену калибров проводят на специальном стенде, а стан комплектуют двумя сменными клетями.

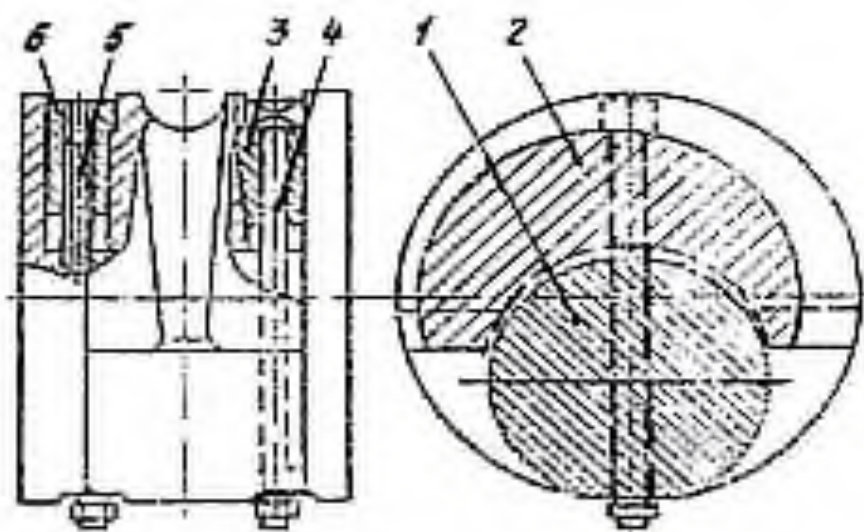


1 - валок; 2 - калибр; 3 - втулка

Рисунок 73 – Кольцевой калибр [1]

Значительно проще заменяются *подковообразные калибры* (рисунок 74). Их устанавливают также, как и полудисковые калибры, в пазах рабочих валков. Применение подковообразных калибров позволило увеличить длину ручья по

сравнению с полудисковыми калибрами примерно на 20% и повысить производительность станов на 14-17%.



1 - валок; 2 - калибр; 3 - клин; 4, 5 - болты; 6 - шпонка

Рисунок 74 – Подковообразный калибр [1]

Рабочие клетки станов ХПТ выполняют с подвижной и неподвижной станинами. Большинство станов ХПТ имеют подвижную станину и только тогда, когда масса рабочей клетки становится большой (станы больших типоразмеров, многониточные станы), в ряде случаев применяют неподвижную станину с подвижными рабочими валками.

В рабочей клетке с подвижной станиной два валка смонтированы на подшипниках качения. Массивные стойки станины воспринимают вертикальную силу прокатки. Основание станины развито, в результате чего повышается ее устойчивость и уменьшается износ опор. Перемещается рабочая клетка на ползунах в направляющих рамах.

В рабочей клетке с неподвижной станиной 10 (рисунок 75) конструкции ЭЗТМ сила прокатки, воспринимаемая рабочими валками, передается через бегунковые роликподшипники 2 с утолщенными наружными кольцами на неподвижные рельсы 3 и 1. Рельсы 3 закреплены на нижней траверсе станины, а рельсы 1 опираются на два клина 8, перемещая которые винтами 12 устанавливают требуемый зазор между рабочими валками. Через сферический подшипник 11 с помощью пружин уравнивания 9 клинья подтягиваются к верхней траверсе станины. Собранные рабочие валки в кассете 6, которая движется возвратно-поступательно на бегунковых опорах 7. Кассета приводится в движение от шатуна 4 через оси 5. Применение рабочих клеток с неподвижной станиной позволяет уменьшить массу подвижных частей почти в 3 раза и получать переменный зазор между валками по длине хода клетки благодаря разделению левого и правого клиньев. Схема с бегунковыми опорами применена на станах ХПТ-120 и ХПТ-250.

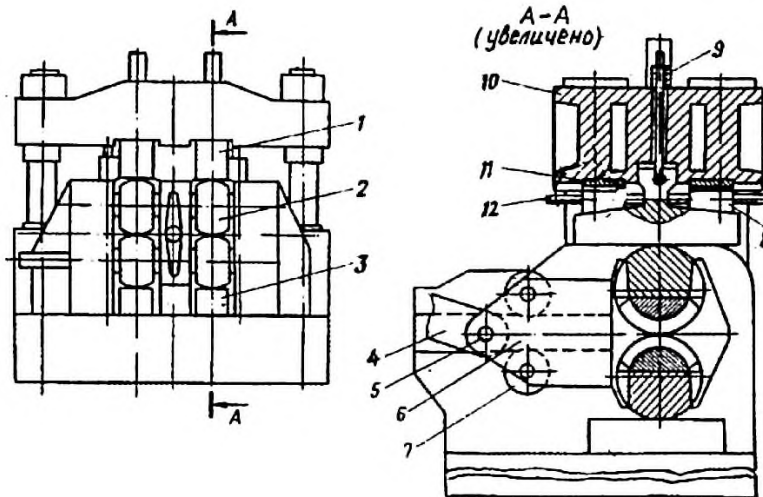


Рисунок 75 – Рабочая клетка с неподвижной станиной [1]

Другая конструкция рабочей клетки с неподвижной станиной использована в стане ХПТ-450 (рисунок 76). Очаг деформации в этом стане создается тремя рабочими валками, расположенными под углом  $120^\circ$ . Сила прокатки передается здесь на линейки неподвижной станины не через бегунковые опоры, а через опорные валки. Так как схема прокатки трехвалковая, то неподвижная станина имеет треугольную форму. На стане ХПТ-450 калибры 3 выполнены в виде сегментов, которые крепят в валках 4. Кассета 2 с валками приводится в возвратно-поступательное движение кривошипно-шатунным механизмом через шатуны 1.

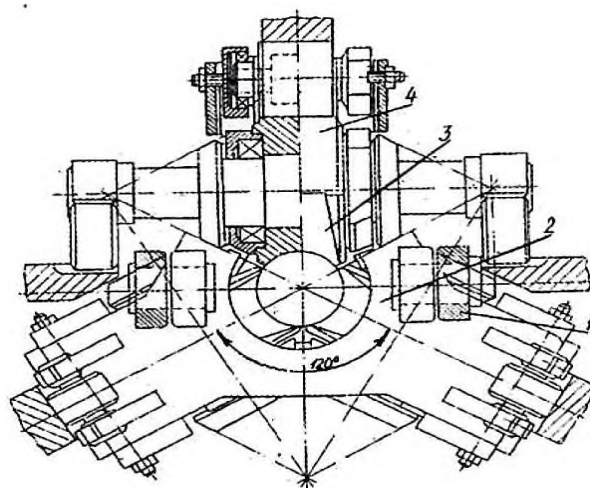


Рисунок 76 – Рабочая клетка стана ХПТ-450 [1]

Рабочие клетки с опорными валками и неподвижной станиной (рисунок 77) применены также в станах ХПТ фирмы «Wean Industries». Станы предназначены для одновременной прокатки трех, пяти и шести труб диаметром 31-39 мм из цветных металлов. Максимальная скорость движения валков – 100 двойных ходов в минуту. Два рабочих 1 и два опорных 2 валков смонтированы в подвижной кассете. Сила прокатки воспринимается неподвижной станиной через опорные рельсы 3. На рабочие валки устанавливают по три, пять или шесть

кольцевых калибров. Рабочие и опорные валки связаны между собой зубчатыми колесами, которые находятся в зацеплении с неподвижными рейками, укрепленными на станине. По аналогичной схеме производит трехниточные станы фирма «Montbard».

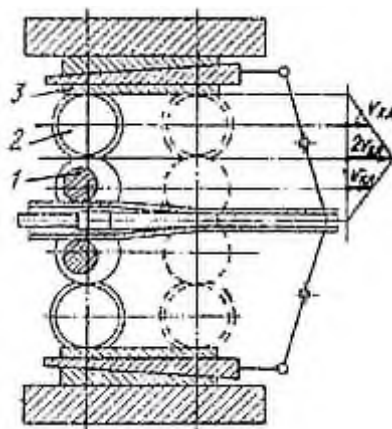


Рисунок 77 – Рабочая клетка с опорными валками [1]

Преимущество рабочих клеток с опорными валками (по сравнению с бегунковыми опорами) – большая жесткость, достигаемая благодаря сокращению расстоянию между опорами валков и меньшей упругой податливости калибров в зоне контакта. К недостаткам этого типа клеток относятся увеличенные габаритные размеры и большая масса подвижных частей.

Приводятся в движение рабочие клетки станков ХПТ электродвигателями постоянного тока через кривошипно-шатунный механизм, с помощью которого вращательное движение вала главного привода преобразуется в возвратно-поступательное движение рабочей клетки. В течение каждого оборота кривошипного вала главный привод претерпевает неравномерную нагрузку. В первой половине прямого и обратного ходов клетки двигатель ускоряет движущиеся массы, во второй половине прямого и обратного ходов затормаживает их. При этом на звенья привода действуют значительные знакопеременные усилия.

*Уравновешивающие устройства* применяют для снижения сил инерции. Наибольшее распространение получили *грузовое* и *пневматическое уравновешивания*. При *грузовом уравновешивании* (рисунок 78) значительно уменьшается момент сил инерции на валу 1 главного привода 2. Суммарный статический и динамический моменты остаются положительными на протяжении всего цикла прокатки. Уравновешивающему грузу 3 сообщается возвратно-поступательное движение с рабочей клетью 4 общим коленчатым валом. В станах фирмы «Mannesmann» груз 3 располагают под углом  $90^\circ$  к направлению движения рабочей клетки 1.

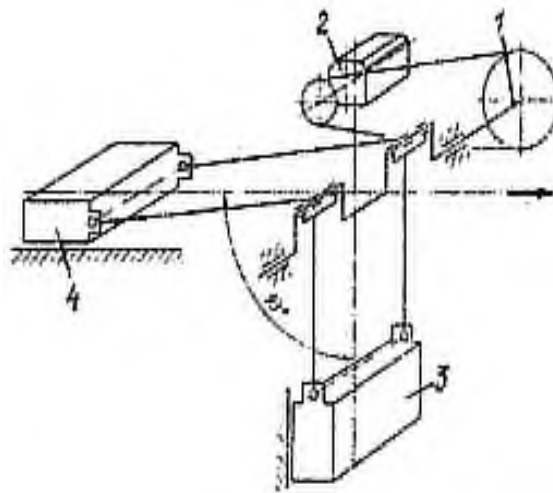


Рисунок 78 – Кинематическая схема приводного механизма стана ХПТ [1]

В многониточных станах конструкции ВНИИМЕТМАШ груз располагают диаметрально противоположно рабочей клетке. Грузовое уравнивание, простое по конструкции, надежно в эксплуатации. Его применение позволяет увеличить скорость прокатки без дополнительных затрат мощности на преодоление динамических сил. Однако этот тип уравнивания не устраняет динамических нагрузок в местах соединения шатунов с рабочей клетью и коленчатым валом. Это – недостаток грузового уравнивания.

*Пневматические уравнивающие устройства* присоединяют непосредственно к рабочей клетке. Здесь создаются более благоприятные условия для уравнивания динамических сил в кинематической цепи приводного механизма стана.

На рисунке 79 дана схема пневматического уравнивающего устройства, состоящего из пневматических цилиндров 1, закрепленных на стойках в цапфах 2. В рабочую полость цилиндров постоянно подается воздух по трубопроводу 3 через отстойник с редукционным клапаном 4 и систему трубопроводов 5, вследствие чего поршни в цилиндрах все время находятся под давлением. С рабочей клетью 7 штоки 6 цилиндров соединены шарнирами.

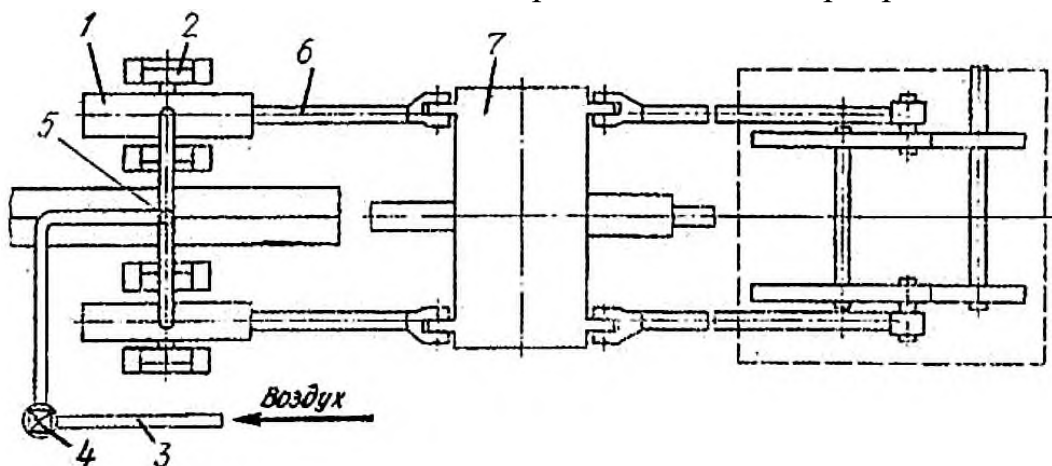


Рисунок 79 – Схема рабочей клетки стана ХПТ с пневматическим



## уравновешиванием массы клетки [1]

Сила уравновешивания создается воздухом, сжимаемым в полостях цилиндров, при приближении рабочей клетки к своим крайним положениям (мертвым точкам). При разгоне и торможении главного привода обе полости каждого цилиндра автоматически соединяются с помощью специального клапана, что исключает перегрузку электродвигателя приводного механизма.

Недостаток пневматического уравновешивания – сложность эксплуатации, заключающаяся в поддержании постоянного температурного режима. Перегрев воздуха приводит к выходу из строя пневматических цилиндров.

Механизм подачи и поворота заготовок используют для периодической подачи заготовок в зону деформации и поворота ее на определенный угол для более равномерного обжатия. Поскольку рабочая клетка может двигаться со скоростью 220÷280 двойных ходов/мин, время одного цикла составляет 0,3 с. За каждый цикл прокатки проводится одна подача и два поворота заготовки. Время, отведенное на подачу и на поворот заготовки, равно 1/6 длительности цикла (0,05 с). То есть, механизмы с прерывистым движением ведомого звена работают в тяжелом динамическом режиме.

Наибольшее распространение в валковых станах ХПТ получили два типа механизмов: конструкции ЭЗТМ (рисунок 80) и конструкции фирмы «Mannesmann».

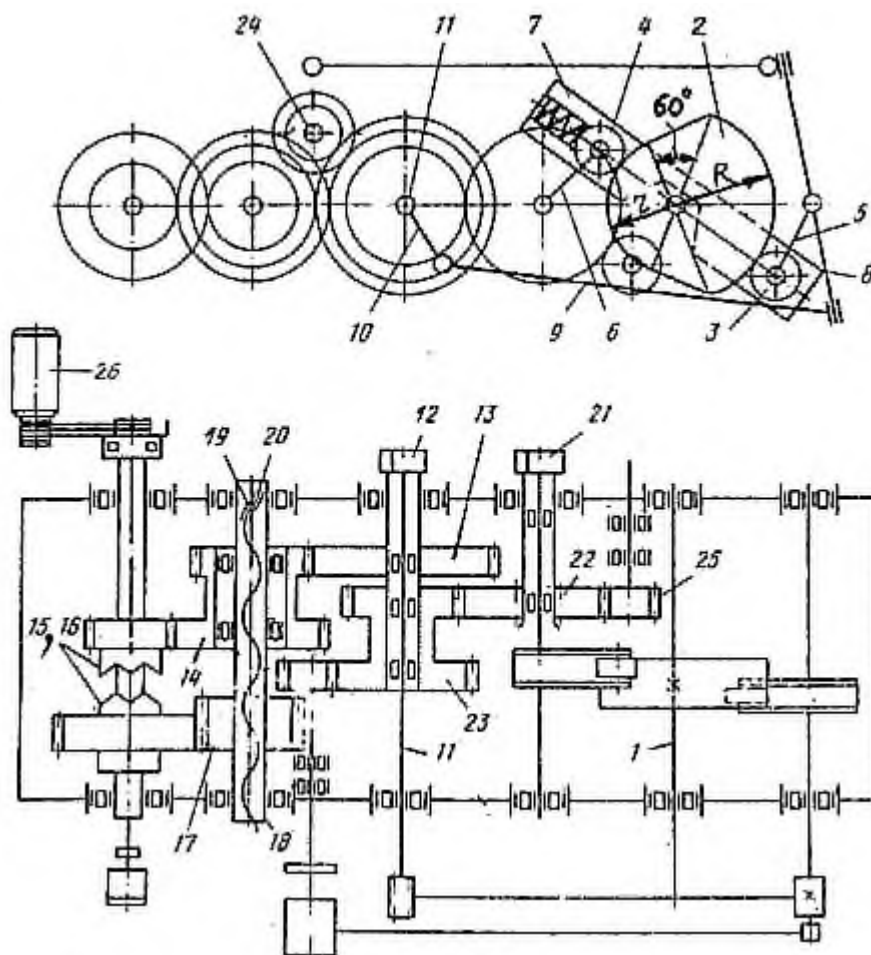


Рисунок 80 – Кинематическая схема механизма подачи и поворота редукторного типа ХПТ [1]

В механизме конструкции ЭЗТМ вал 1 с кулаком 2 вращается от главного привода стана с числом оборотов, равным числу двойных ходов в клетке. Кулак обкатывает ролики 3 и 4, закрепленные на рычагах 5 и 6. Ролики связаны между собой рамкой 7. Профиль кулака выполнен таким образом, что в момент подачи участок поверхности кулака с переменным радиусом кривизны отклоняет ролик 3 направо и рычаг 5 поворачивается на некоторый угол против часовой стрелки. На этот же угол поворачивается рычаг 8, установленный на один вал с рычагом 5. На палец рычага 8 насажена тяга 9, другой конец которой шарнирно соединен с рычагом 10, который поворачивает вал 11. На этом валу закреплена звездочка роликковой муфты обгона 12. В момент подачи обод муфты обгона заклинивается и передает вращение шестерне 13. Далее движение через блок шестерен 14, кулачковую муфту 15-16 и зубчатую передачу 17 передается на шпиндель 18 подачи, в котором закреплена гайка 19 винта подачи 20. В момент поворота переменный профиль кулака отклоняет ролик 4 налево, и рычаг 6 поворачивается на некоторый угол против часовой стрелки. Вместе с рычагом поворачивается звездочка роликковой муфты обгона 21, закрепленная на одном валу с рычагом 6. При повороте звездочка заклинивается, и обод муфты 21 передает

вращение шестерне 22. С этой шестерней находятся в зацеплении шестерня блока 23, от которого вращение передается на верхний вал поворота 24, идущий к патрону стержня. С шестерней 22 находятся также в зацеплении шестерня 25 нижнего вала поворота, соединяемого с трансмиссией переднего и промежуточного патронов. Регулирование подачи осуществляется изменением длины плеча рычага 8. Угол поворота заготовки не регулируют. Патрон получает ускоренное перемещение от двигателя постоянного тока через клиноременную передачу и фрикционную муфту при отключенной кулачковой муфте. Во время прерывистой рабочей подачи кулачковая муфта выключается, а фрикционная расцепляется гидравлическим цилиндром.

Механизм подачи редукторного типа успешно работает при скорости 100...150 двойных ходов клетки в минуту.

Другая кинематическая схема с механизмом подачи фирмы «Mannesmann» (Германия), приведена на рисунке 81.

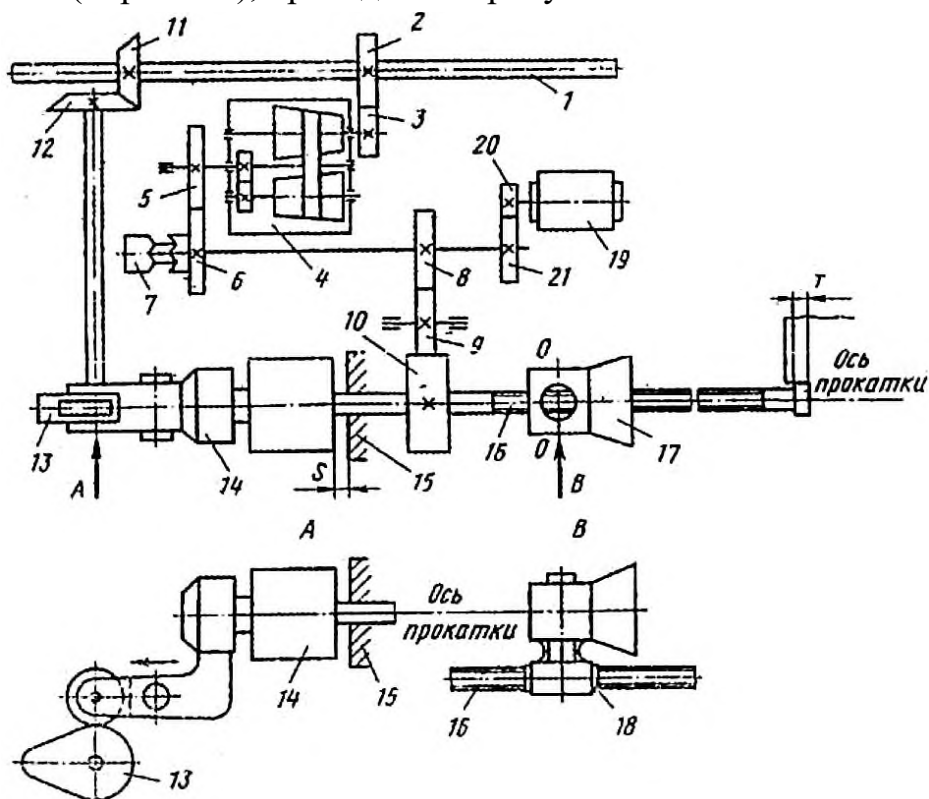


Рисунок 81 - Схема механизма подачи механизма подачи фирмы «Mannesmann» (Германия) [1]

Подача заготовки здесь происходит следующим образом.

От приводного вала 1 и конической пары зубчатых колес 11-12 вращается кулак 13 с частотой вращения, равной частоте вращения кривошипного вала приводного механизма стана. Когда клеть находится в исходном положении, кулак сообщает качательное движение рычагу 14 в направлении упора 15, перемещая винт подачи 16 на расстояние  $S$ . На такое же расстояние перемещается и патрон заготовки 17, поскольку винт подачи находится в гайке 18, закреплен-



ной в корпусе патрона заготовки. Во время обжатия заготовки калибрами, то есть во время рабочего и обратного хода, рычаг отводится влево от упора на расстояние  $S$ , определяющее будущую подачу, с помощью бесступенчатой зубчатой передачи 4 (приводимой в движение от приводного вала через зубчатую пару 2-3), зубчатых колес 5-6 и систему шестерен 8-10. При этом на такое же расстояние влево перемещается и винт подачи, вывинчиваясь в указанном направлении из гайки неподвижно стоящего патрона заготовки. Далее цикл подачи повторяется. Таким же образом, во время прокатки за каждый двойной ход клетки винт подачи совершает поступательное движение с патроном заготовки в направлении рабочей клетки и возвратное винтовое движение на то же расстояние. Максимальное расстояние возвратно-поступательного движения винта подачи равно примерно 50 мм. Ускоренный отвод патрона заготовки перед перезарядкой стана заготовкой происходит включением электродвигателем 19, от которого через зубчатую пару 20-21 и систему шестерен 8-10 приводится во вращение винт подачи. Освобожденный из заготовки патрон перемещается при этом в нужном направлении. Во время ускоренного перемещения патрона заготовки бесступенчатая передача при помощи муфты 7 отключается.

## 23 Конструкции роликовых станов для холодной прокатки

В конце 1950-х гг. во ВНИИМЕТМАШ В.В. Носалем и В.А. Вердеревским были созданы первые станы холодной прокатки труб роликами (ХПТР), используемые для получения тонкостенных и особенно тонкостенных, прецизионных и толстостенных труб, а также профильных - с продольными ребрами, шестигранных, трехгранных и т.п.

Принцип действия роликовых станов (рисунок 82) состоит в следующем. Заготовка обжимается на цилиндрической оправке тремя или более роликами 6 малого диаметра, расположенными по периметру трубы. Ролики заключены в сепаратор 3. Рабочий ручей (калибр) ролика имеет постоянное сечение.

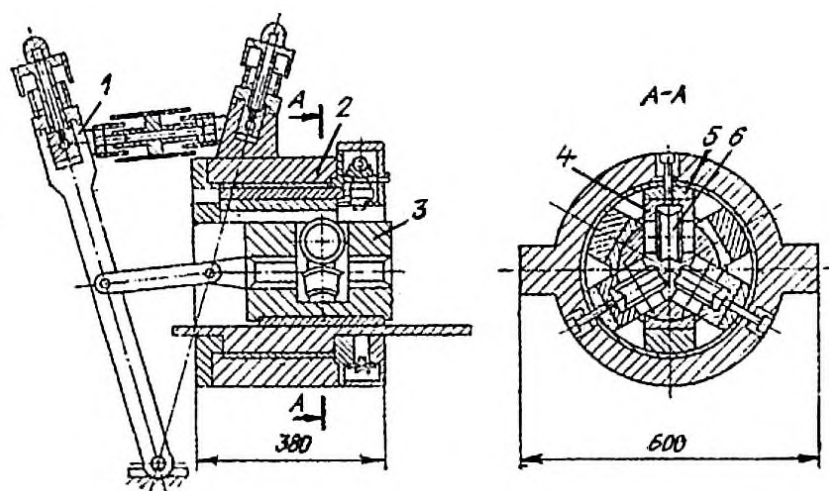


Рисунок 82 – Рабочая клетка стана ХПТР 30-60 [1]

Своими цапфами ролики опираются на направляющие планки 4 швеллерообразного вида. Рабочие поверхности планок имеют специальный профиль – калибровку, благодаря которой заготовка обжимается в соответствии с заданным законом, зависящим от ее исходного размера и размера готовой трубы, материала труб, режимов прокатки и т.п.

Опорные планки установлены на клиновых прокладках 5 в жесткой толстостенной втулке 2, которая воспринимает силы прокатки. Этой втулке, заменяющей рабочую клетку, сообщается возвратно-поступательное движение кривошипно-шатунным механизмом (на рисунке не показаны). Ролики получают возвратно-поступательное движение благодаря одновременному контакту с прокатываемой трубой и направляющими планками.

Обкатывая рабочую поверхность планок, ролики, в соответствии с калибровкой, обжимают поданную часть заготовки. Подача и поворот заготовки осуществляется в крайнем положении втулки клетки. Во время подачи заготовки, когда ролики выходят из контакта с трубой, а также до прокатки, при холостом ходе клетки, необходимое соотношение скоростей движения втулки и роликов обеспечивается рычагом 1, большее плечо которого соединено со втул-

кой, а к малому присоединен сепаратор с роликами. Таким образом сепаратор выполняет две функции – удерживает ролики в одной вертикальной плоскости и сообщает им необходимую скорость движения при холостом ходе клетки. Скорость сепаратора, определяемая соотношением катающего диаметра роликов и диаметра цапф, подбирают, устанавливая на рычаге соответствующее место закрепления тяг сепаратора. Настройку калибра выполняют регулировочными клиньями, на которых установлены опорные планки. Этими клиньями компенсируются также упругая деформация деталей, воспринимающих силу прокатки, а возможные неточность изготовления и износ рабочего инструмента.

Последовательность технологических операций при прокатке труб на роликовых станах примерно такая же, как и на валковых станах ХПТ, однако из-за специфических условий прокатки труб с тонкими стенками и применения достаточно тонкостенных заготовок механизмы роликовых станов принципиально отличаются от механизмов станов валкового типа.

*Особенности роликовых станов.* В роликовых станах обязательна торцевая загрузка заготовок, так как прокатка ведется на цилиндрической оправке. Жесткие требования предъявляют к стабильности заданной подачи вследствие большого влияния разброса подач на разностенность готовых труб. С учетом этого подачу и поворот заготовок осуществляют мальтийским механизмом (рисунок 83), а подачу регулируют посредством коробки скоростей. Периодический поворот шестипазового ведомого диска 1 на угол  $60^\circ$  осуществляется пальцем 2, установленным на кривошипном ведущем валу 3, при его повороте на угол  $120^\circ$ . Во время поворота на остальные  $240^\circ$  кривошип не взаимодействует с ведомым диском, который остается неподвижным.

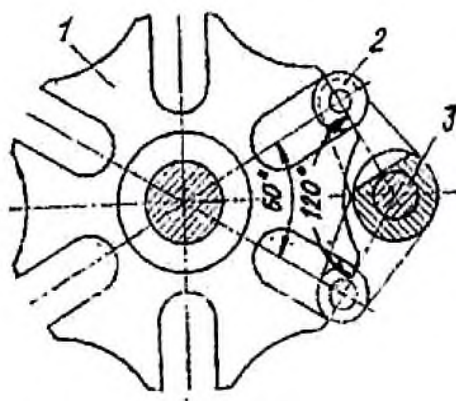


Рисунок 83 – Мальтийский механизм [1]

Главное преимущество механизма подачи и поворота с мальтийским крестом – высокая точность подачи и угла поворота.

На рисунке 84 приведена типовая схема механизма подачи и поворота, используемая в станах ХПТР. Вращение от привода рабочей клетки через трансмиссионный вал 1 передается на вал 2, на котором установлен кривошип 3 мальтийского креста. При этом частота вращения кривошипного вала должна

быть равна числу двойных ходов рабочей клетки в 1 мин. Кривошип в момент подачи и поворота заготовки приводит в движение шестишаровый диск 4, обеспечивая поворот вала 5 на угол  $60^\circ$ . На вал 6 поворота заготовки вращение передается посредством зубчатой передачи 7, передаточное отношение которой определяется требуемым углом поворота заготовки.

При прокатке цилиндрических гладких труб этот угол обычно составляет  $51^\circ$ . На винт подачи вращение передается с вала 8 через одну из шестерен 9-11 на вал 12 переключением муфты 13. Далее с помощью зубчатой пары 14 вращение передается блоку шестерен 15, 16. Таким образом, переключением муфты 13 и блоков шестерен 15, 16 обеспечивается шесть различных подач заготовки. При нормальной работе стана муфта переключения 17 соединяет вал 18 с шестернями блока 16. Ускоренное вращение винта подач осуществляется переключением муфты 17, при котором винт подачи через шестерни 19, 20 соединяется с валом 21 привода ускоренного хода. Вращение на вал 22 зажима заготовки в патроне подач передается от гидродвигателя 23 через червячную пару 24.

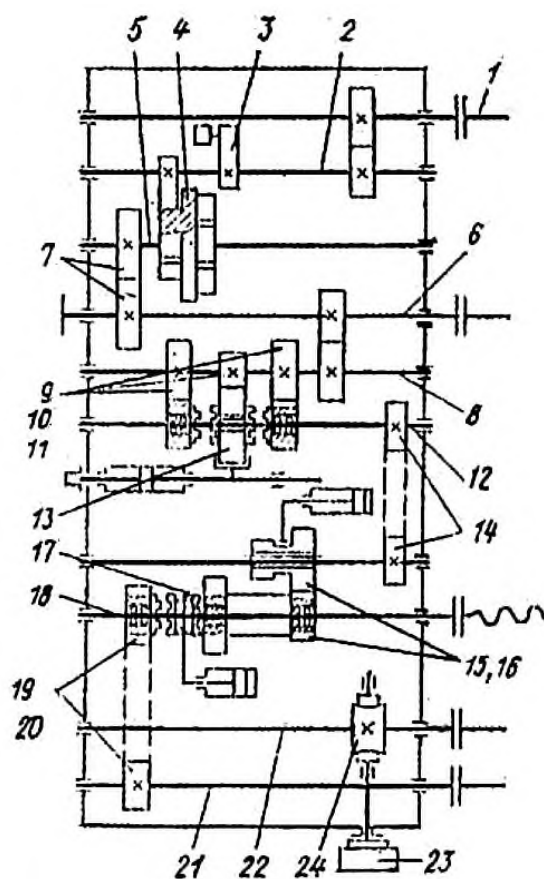


Рисунок 84 – Механизм подачи и поворота заготовки [1]

Преимущества роликовых станов состоят в обеспечении необходимых условий для получения точных по размерам высококачественных тонкостенных и прецизионных труб. Основные из этих условий – малый диаметр рабочих роликов, обеспечивающий прокатку труб с тонкими стенками; небольшое сколь-

жение ручья роликов о прокатываемый металл, обусловленное многороликовой схемой, что позволяет получить высокое качество поверхности труб, простота конструкции рабочего инструмента и, следовательно, возможность изготовления его с высокой точностью, что обеспечивает высокую точность готовым трубам.

Роликовые станы изготавливают пяти типоразмеров: ХПТР 4-15, ХПТР 8-15, ХПТР 15-30, ХПТР 30-60 и ХПТР 60-120. На них прокатывают трубы диаметром 4...120 мм. Станы ХПТР 8-15 и ХПТР 15-30 изготавливают также и в двухниточном исполнении. Технические характеристики станов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики станов ХПТР [1]

| Параметр                                    | ХПТР 4-15 | ХПТР 8-15 | ХПТР 15-30 | ХПТР 30-60 | ХПТР 60-120 |
|---|-----------|-----------|------------|------------|-------------|
| Размер заготовки, мм:<br>диаметр            | 4,8-18    | 9-17      | 16-33      | 31-68      | 65-130      |
| длина                                       | 1500-4000 | 1000-4000 |            | 2500-5000  |             |
| Размер тонкой трубы, мм:<br>диаметр         | 4-15      | 8-15      | 15-30      | 30-60      | 60-120      |
| толщина тонкой стенки                       | 0,08-1,5  |           | 0,1-2,5    | 0,3-4,0    | 0,5-6,0     |
| Диаметр роликов, мм                         | 32        | 52        | 62         | 83         | 180         |
| Число роликов                               | 3         |           |            |            | 4           |
| Ход клетки, мм                              | 490       | 450       |            | 600        | 755         |
| Подача заготовки за один<br>ход, мм         | 1,3-8     |           | 2,3-13,1   | 2,5-15     | 2,5-15,6    |
| Мощность двигателя<br>главного привода, кВт | 10        |           | 28         | 40         | 100         |
| Производительность<br>стана, м/ч            | 15-35     |           |            |            | 12-32       |
| Масса стана, т                              | 8,4       |           | 13,0       | 16,3       | 43,4        |
| Габаритные размеры<br>стана, м:             |           |           |            |            |             |
| длина                                       | 8,3       | 8,84      | 15,52      | 16,76      | 17,72       |
| ширина                                      | 1,6       | 1,55      | 2,55       | 2,83       | 3,9         |
| высота                                      | 1,3       | 1,8       | 1,5        | 1,64       | 1,95        |

Расположение механизмов в роликовых станах мало отличается от расположения механизмов в валковых станах. Однако все станы ХПТР имеют обязательно торцевую загрузку заготовок. На рисунке 85 дана схема стана ХПТР 30-60.

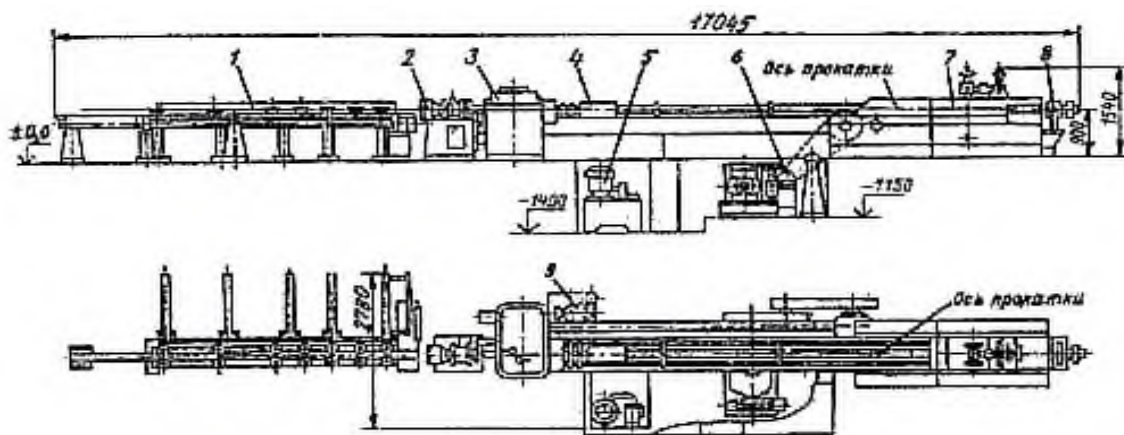


Рисунок 85 – Стан ХПТР 30-60 [1]

Последовательность технологических операций на этом стане та же, что и на станах других типоразмеров. Заготовки мостовым краном укладываются на загрузочное устройство 1. Подающими роликами, расположенными вдоль оси прокатки, очередная заготовка продвигается в сторону рабочей клетки. Во время движения открывается зажим 2 стержня оправки, и заготовка продвигается в зону действия патрона подачи 4. Пока зажим открыт, стержень оправки удерживается в роликах рабочей клетки. Патрон подачи зажимает заготовку. Включается главный привод 6 стана, рабочая клетка 7 получает возвратно-поступательное движение, а патрон подачи – прерывистое от подающе-поворотного механизма 3. Прокатка продолжается до тех пор, пока патрон подачи не дойдет до самого крайнего переднего положения. В этот момент главный привод отключается, и патрон подачи ускоренным ходом от электродвигателя 9 возвращается в исходное положение, после чего цикл повторяется. Конструкция патрона подачи обеспечивает зажатие заготовки в любом месте его расположения. При докатке концов труб их поворот производится передним патроном 8. В качестве главного привода станом используют электродвигатели постоянного тока. Передача момента от электродвигателей к кривошипно-шатунному механизму осуществляются клиновыми ремнями. Большой шкив, при этом, является маховиком. В целях уменьшения ширины стана электродвигатель располагают в прямке под станом. Там же устанавливают насосную станцию гидропривода 5.

Чтобы один вальцовщик мог одновременно обслуживать два стана ХПТР, их изготавливают в правом и левом исполнениях. При обслуживании двух станом рабочее место вальцовщика находится между станами. Пульты управления обоих станом обращены в его сторону.



## 24 Конструкции машин и агрегатов для производства сварных труб

Оборудование трубоэлектросварочного стана по характеру технологических операций можно разделить на три участка: подготовки ленты; формовки, сварки и калибровки; резки и уборки труб. Агрегаты классифицируют по диаметру изготавливаемых труб. Для производства труб большого диаметра используют агрегаты со станами 530-1020 и 1020-1620 (цифры – интервалы диаметров изготавливаемых труб в миллиметрах), труб среднего диаметра – агрегаты со станами 20-76, 51-114, 102-220, 203-530 и труб малого диаметра – агрегаты со станами 6-32.

В состав оборудования участка подготовки ленты входят следующие установки: разматыватель, правильная машина, ножницы, стыкосварочная машина, тянущие ролики, петлеобразователь, дисковые ножницы.

Разматыватель предназначен для установки рулонов ленты, подготовки их к разматыванию и поддержанию рулона в процессе разматывания. Разматыватель (рисунок 86) имеет два положения. В положении А рулон устанавливается мостовым или консольно-поворотным станом на опорные ролики – приводной 1 и качающийся 2. Ролик 1 приводится в движение от электродвигателя 3 через червячный редуктор 4. При вращении ролик поворачивает рулон так, что передний его конец оказывается в верхней части. После этого электродвигатель отключают, а передний конец рулона укладывают на движущуюся ленту разматываемого рулона, находящегося в положении Б.

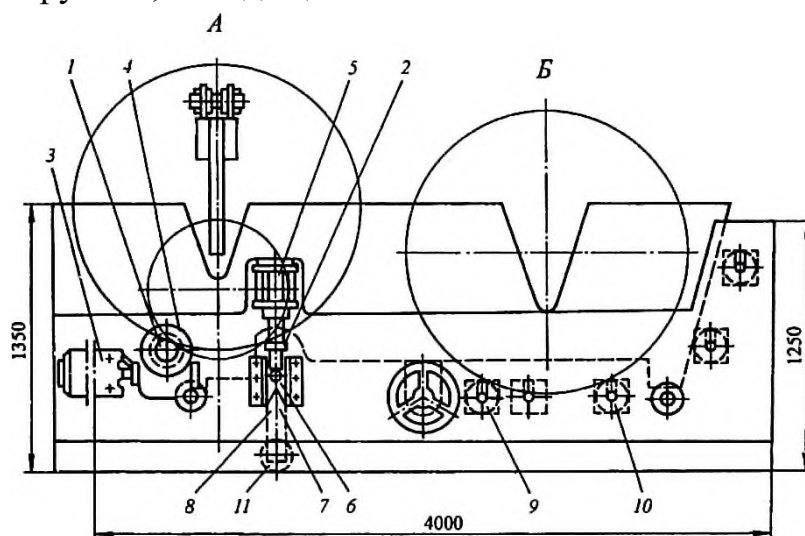


Рисунок 86 – Разматыватель рулонов [14]

После полной размотки рулона валки правильной машины разводятся, а передний конец рулона из положения А задается в них с помощью электродвигателя 3. Затем валки сходятся, захватывают передний конец рулона из положения А и начинается его размотка.

Рулон из положения А должен перемещаться в положение Б, для этого включается пневмоцилиндр 5, который поднимает чеку 6, освобождая ось 7, а качающийся ролик, сидящий на рычаге 8, отклоняется вправо.

Рулон из положения А под действием тянущего усилия правильной машины перекатываются в положение Б, попадая на холостые ролики 9 и 10. После этого качающийся ролик под действием противовеса 11 возвращается в исходное вертикальное положение, а пневмоцилиндр включается на обратный ход и чека вновь затормаживает ось 7. Положение А свободно и готово принять следующий рулон. Диаметр разматываемых рулонов 1000...1600 мм.

Разматыватель рулонов (рисунок 87) предназначен для приема пакет-рулонов, разрезанных на агрегате продольной резки, и последующей подачи поштучно на ось размотки с помощью роликов. На оси размотки рулонов производится обрезка оброчки и складирование ее в короб 1 в смотанном бунте с помощью моталки 2. После удаления оброчки рулон поворачивается при помощи стационарного приводного ролика 3 до тех пор, пока его конец не будет отсечен скребком 4 и направлен в тянущие ролики 5 и листоправильную машину 6. На разматыватель рулоны подаются на тележке 7, на которой расположены балки рулонов подъемные 8 и стационарные 10. Во время размотки рулон опирается на качающиеся приводные ролики 9.

Правильная машина - пятивалковая, предназначенная для правки ленты после размотки рулона. Как и в агрегате печной сварки труб, на трубоэлектросварочных станах устанавливают пяти-, семи-, девятивалковые правильные машины.

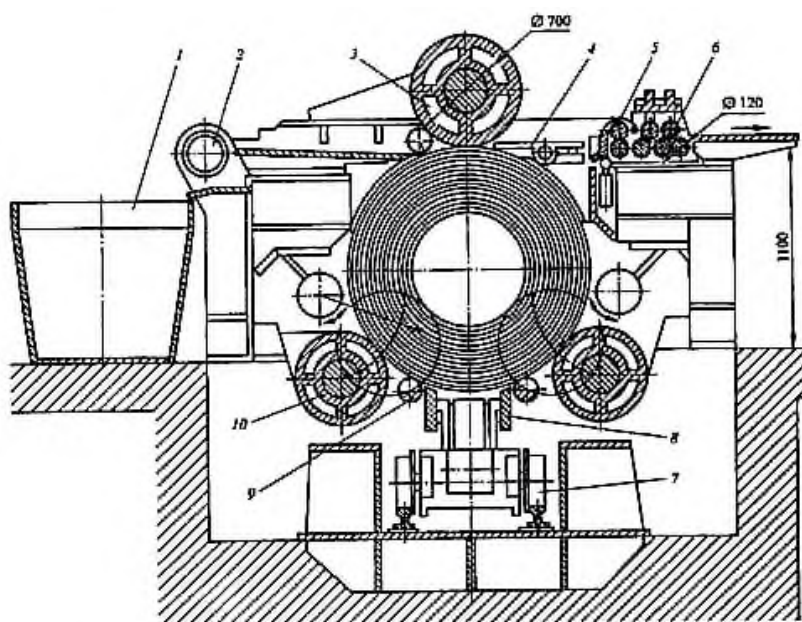


Рисунок 87 – Полуавтоматический разматыватель рулонов [14]

В пятивалковой машине (рисунок 88) валки 1 установлены в подушках 2 на подшипниках качения. Подушки верхних двух валков размещены в качаю-



щейся траверсе 3, а подушки нижних трех валков смонтированы в станине 4. Четыре валка – приводные (пятый – холостой) вращаются от электродвигателя 5 через редуктор 6, комбинированный редуктор 7 и универсальные шпиндели 8. Для задачи ленты в валки машины верхняя траверса 3 поднимается с помощью гидравлического цилиндра 9, а после заправки ленты опускается до упора хвостовика 10 в станине 11.

Валки настраивают по толщине ленты с помощью маховиков 12 и 13, при вращении маховика 13 регулируют также величину перегиба ленты между валками. Пятый холостой правый валок регулируют с помощью третьего маховика 14. Диаметр валков 120 мм, шаг приводных валков 130 мм.

На гильотинных ножницах обрезают передний и задний концы рулонов. Усилие резания ножниц 400 кН, длина ножей 600 мм, расстояние между ножами 55 мм, ход нижнего ножа 80 мм, число ходов в минуту 28.

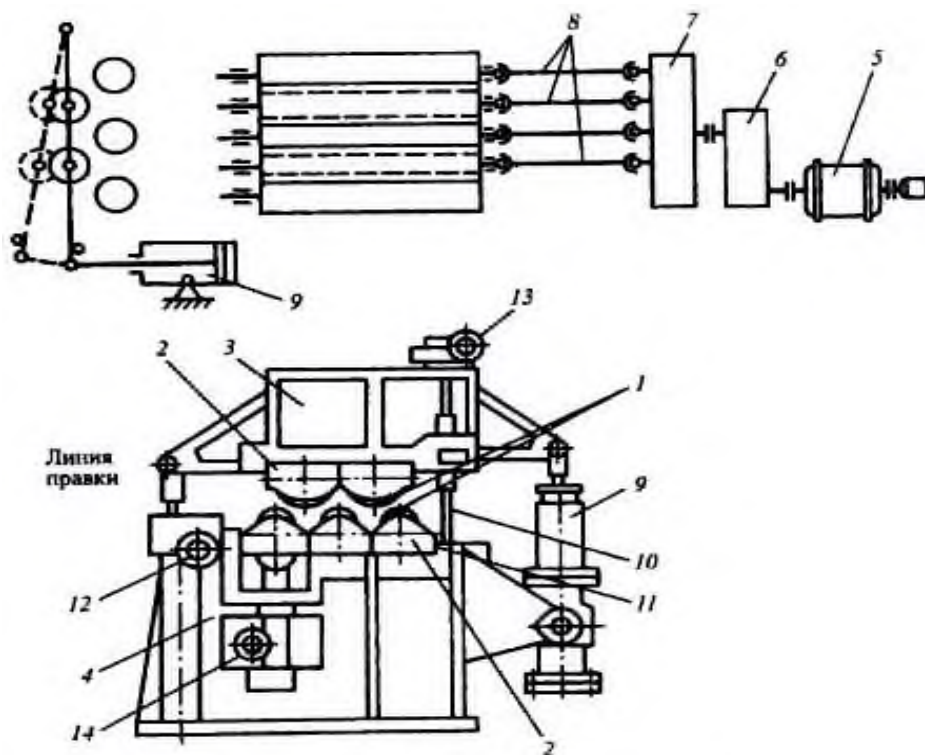


Рисунок 88 – Пятивалковая правильная машина [14]

Сваренные концы рулонов штрипса с помощью тянущих роликов протаскиваются через сварочный аппарат и гратосниматель, которые конструктивно объединены в стыкосварочную машину.

Торцы полос сближают и начинают сплавлять, затем ток отключают и оплавленные кромки, быстро сближаясь, свариваются. Валик шва (грат), образующийся при стыковке, снимается неподвижными ножами плужкового типа гратоснимателя при протаскивании полосы, зажатой в губках протаскивающего устройства. Тянущие ролики, установленные за стыкосварочной машиной, предназначены для перемещения заднего конца ленты после выхода из пра-

вильной машины и накопления ленты в петлеобразователе после сварки концов.

Наибольшее тянущее усилие 8 кН, диаметр роликов 250 мм, ход верхнего ролика 50 мм. В петлеобразователе создается запас ленты, используемый для работы стана во время обрезки концов рулонов ленты и их сварки; таким способом обеспечивается непрерывный процесс сварки труб. После сварки концов ленты включают правильную машину и тянущие ролики, при этом их скорость устанавливают больше скорости формовки, после наполнения петлеобразователя лентой скорости накопления и расхода петли становятся одинаковыми, а величина петли постоянной.

Петлеобразователь, представленный на рисунке 89, состоит из наружной обоймы 1 с подпружиненными роликами 2. Лента накапливается на вращающемся столе 3.

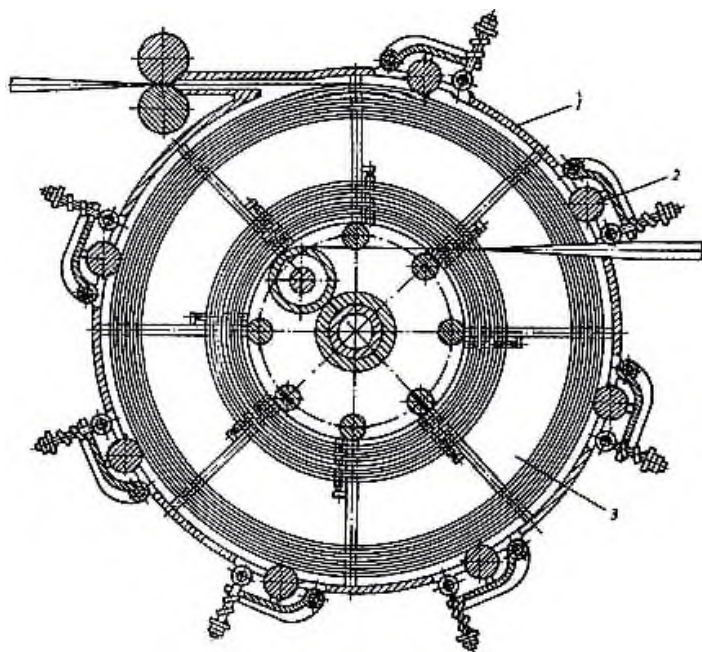


Рисунок 89 – Петлеобразователь горизонтальный [14]

Формовочные и калибровочные станы непрерывных трубоэлектросварочных агрегатов предназначены для валковой формовки непрерывно движущейся ленты в трубную заготовку, последующей калибровки сварных труб по наружному диаметру и некоторой правки их по длине. Станы состоят из последовательно расположенных унифицированных вертикальных и горизонтальных клеток. Техническая характеристика трубоэлектросварочных агрегатов приведена в таблице 7.

Таблица 7 - Характеристика трубоэлектросварочных агрегатов [14]

| Характеристика  | ТЭСА      |           |          |                |           |
|---|-----------|-----------|----------|----------------|-----------|
|   | 6-32      | 20-76     | 51-114   | 102-220        | 203-530   |
| Диаметр труб, мм  | 6...32    | 20...76   | 51...114 | 102...220      | 203...530 |
| Толщина стенки, мм  | 0,8...2,0 | 1...4     | 1...5    | 3...8          | 2...10    |
| Скорость формовки (калибровки), м/мин                                     | 30...70   | 30...120  | 40...120 | 25...65        | 28...80   |
| Усилие металла на валки, кН   |           |           |          |                |           |
| горизонтальные  | 20        | 30        | 150      | 170            | 200/400   |
| вертикальные  | 8         | 15        | 50       | 50             | 1000/200  |
| Диаметр горизонтального вала по дну калибра, мм                           | 120       | 140       | 350      | 380            | 600       |
| Число клеток (горизонтальное/вертикальное)                                | 6/3 5/3   | 6/3 7/3   | 8/3 7/3  | 8/4 12/4       | 8/4 5/-   |
| Материал вала   | X12M      | X12M      | X12MЛ    | X12LM          | X12MЛ     |
| Тип привода   | групповой |           |          | индивидуальный |           |
| Число электродвигателей   | 1/1       | 1/1       | 1/1      | 8/4            | 28/8      |
| Общая мощность электродвигателей, кВт                                     | 25/14     | 180/180   | 160/160  | 600/300        | 25/450    |
| Общая масса, т  | 10,5/5,4  | 16,7/13,6 | 64/43,4  | 107,5/55,4     | 300/113   |
| Примечание. Числитель-формовочные станы, знаменатель –калибровочные станы |           |           |          |                |           |

Формовочный стан ТЭСА 6-32 состоит из пяти вертикальных и шести горизонтальных клеток с открытыми и закрытыми калибрами, установленных на стенде. Привод валков горизонтальных клеток групповой от электродвигателя постоянного тока через комбинированный редуктор, шестеренную клетку, гитару и карданные валы. Валки нижние и верхние - профилированные. Диаметры валков определяются максимальным размером изготавливаемых труб. Верхние валки могут перемещаться в вертикальной плоскости при помощи нажимных винтов, причем это перемещение можно осуществлять отдельно по каждой клетке. В рабочих клетках предусмотрено также осевое перемещение верхнего и нижнего валков.

Формовочный стан ТЭСА 6-32 состоит из трех горизонтальных и трех вертикальных клеток. Конструкция клеток аналогична конструкциям клеток формовочного стана. В калибровочном стане диаметры верхних и нижних валков одинаковы. Как и в формовочном стане валки калибровочного стана приводятся во вращение от электродвигателя постоянного тока.

Формовочно-сварочная линия ТЭСА 20-76 предназначена для образования небольшой петли перед формовочным станом с целью исключения колебаний нагрузки и стабилизации процесса формовки ленты в незамкнутую заготовку, нагрева кромок заготовки и сварки трубы, охлаждения сварного шва, калибровки и профилирования труб с правкой в двух правильных головках.

В состав данной линии входят: устройство для образования петли с установкой фотореле, формовочный стан, трубосварочная машина, высокочастотная установка, охлаждающее устройство, профильно-калибровочный стан.

Формовочный стан (рисунок 90) состоит из шести горизонтальных (рабочих) клеток 2, семи вертикальных (неприводных) клеток 3 и постаментов 4. Пять первых горизонтальных клеток приводятся от электродвигателя 1 постоянного тока через шестеренную клетку и карданные передачи. Конструкции горизонтальных и вертикальных клеток формовочного стана однотипны.

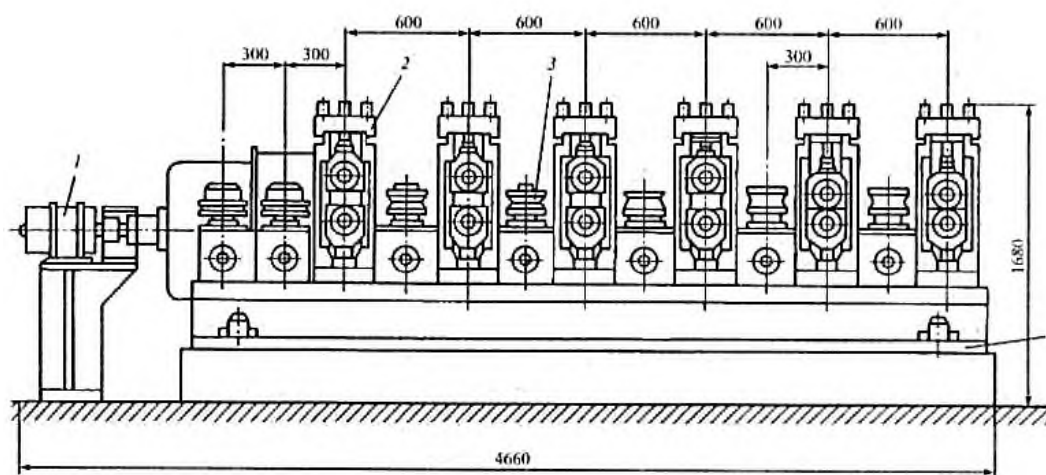


Рисунок 90 – Формовочный стан ТЭСА 20-76 [14]

Профильно-калибровочный стан (рисунок 91) состоит из вертикальной клетки 1, пяти четырехвалковых клеток 2 и двух правильных клеток 3. Горизонтальные валки четырехвалковых клеток приводятся от электродвигателя 4 постоянного тока через редуктор, шестеренную клетку и карданные передачи, остальные валки - неприводные.

Перевалка валков формовочного и профильно-калибровочного стана осуществляется блоком клеток с предварительной настройкой калибров на стендах вне линии станом (на сменном комплекте клеток и инструмента).

В состав формовочно-сварочной линии ТЭСА 51-114 входят: формовочный стан, высокочастотная нагревательная установка, трубосварочная машина, охлаждающее устройство, калибровочный стан, приборы для контроля сварного шва и сплошности трубы, летучий трубрезной станок.

Формовочный стан состоит из пяти двухвалковых вертикальных, шести двухвалковых горизонтальных и трех трехвалковых клеток. Привод валков горизонтальных клеток групповой одношпиндельный от электродвигателя постоянного тока через цилиндрический и конические редукторы.

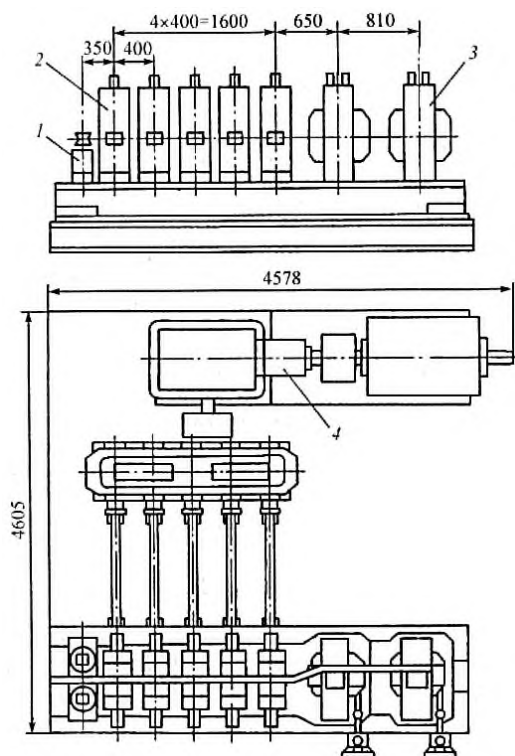


Рисунок 91 – Профильно-калибровочный стан ТЭСА 20-76 [14]

Усилие на сварочных валках измеряется встроенными пневмогидравлическими месдозами. Резцы гратоснимателей вводятся в работу и выводятся вручную.

На машине для резки трубы на ходу режутся на мерные длины, а затем сварной шов контролируется дефектоскопом. В районе дефектоскопов труба или профиль жестко удерживаются направляющими валками.

Горизонтальные клетки снабжены механизмом уравнивания верхнего валка, пневмогидравлическими месдозами-компенсаторами. Валки вертикальных клеток имеют осевую и поперечную регулировки. Станины вертикальных и горизонтальных клеток выполнены сварными.

На формовочном стане предусмотрена возможность производства тонкостенных труб с применением проводок, устанавливаемых на участке формовочного стана вместо вертикальных клеток.

Калибровочный стан состоит из трех вертикальных и двух правильных клеток. Привод клеток калибровочного стана двухшпиндельный, выполнен аналогично приводу формовочного стана. Конструкции вертикальных и горизонтальных клеток однотипны. Перевалка валков формовочного и калибровочного станов осуществляется клетями, предварительно настроенными на стенде вне линии стана.

В состав формовочно-сварочной линии ТЭСА 102-220 входят: формовочный стан, трубосварочная машина, установка для локальной термообработки, специальный рольганг, охлаждающее устройство, калибровочный стан, летучий трубрезной станок.

Формовочный стан (рисунок 92) состоит из 12 вертикальных и 8 горизонтальных клеток. Привод валков горизонтальных клеток с открытым калибром одношпиндельный, клеток с закрытым калибром двухшпиндельный индивидуальный от электродвигателей постоянного тока через цилиндрические редукторы и шпиндели.

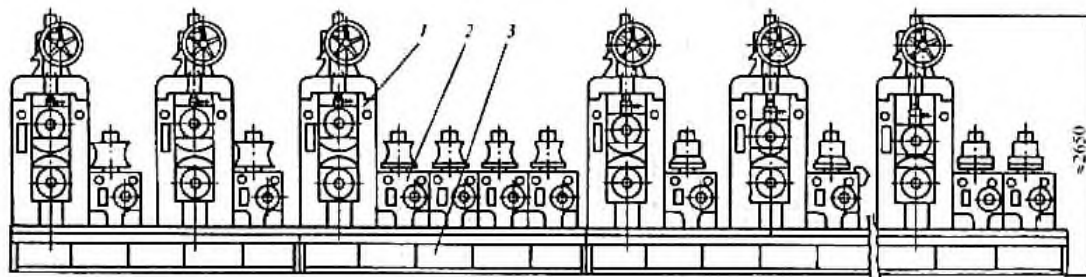


Рисунок 92 – Формовочный стан ТЭСА 102-220 [14]

Калибровочный стан (рисунок 93) включает четыре вертикальных, четыре горизонтальных и одну правильную клетки, а также привод валков горизонтальных клеток. Привод клеток калибровочного стана двухшпиндельный, индивидуальный, выполнен аналогично приводу клеток с закрытым калибром формовочного стана.

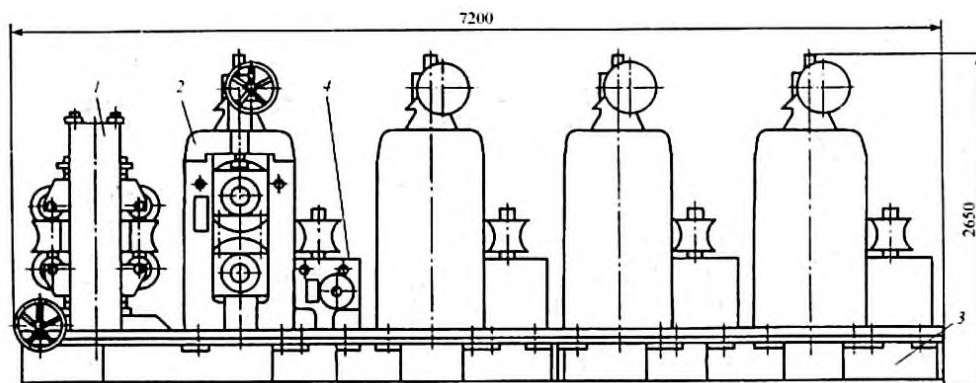


Рисунок 93 – Калибровочный стан ТЭСА 102-220 [14]

Конструкции вертикальных и горизонтальных клеток формовочного стана однотипны. Перевалка валков формовочного и калибровочного станом осуществляется клетями, предварительно настроенными на стенде вне линии стана.

В состав ТЭСА 203-530 входят: формовочный стан, трубосварочная машина, установка для локальной термообработки зоны сварного шва, калибровочный стан, летучий труборезной станок.

Формовочный стан (рисунок 94) состоит из пяти вертикальных 1, восьми горизонтальных и одной кромкогибочной клетки 3, привода валков горизонтальных клеток. Привод валков горизонтальных клеток 2 с открытым калибром одношпиндельный, клеток 4 с закрытым калибром двухшпиндельный, индиви-



дуальный от электродвигателей постоянного тока через цилиндрический редуктор, шестеренную клеть, шпиндели.

Конструкция вертикальных клетей выполнена с наклонно расположенными осями валков, имеющими ручную регулировку по высоте и от электродвигателя, установленного поперек оси стана. Горизонтальные клетки снабжены механизмом уравнивания верхнего валка с пневмогидравлическими компенсаторами.

Клетти с закрытыми калибрами выполнены четырехвалковыми, повышенной жесткости. Боковые валки устанавливаются между подушками верхнего и нижнего валков и жестко фиксируются.

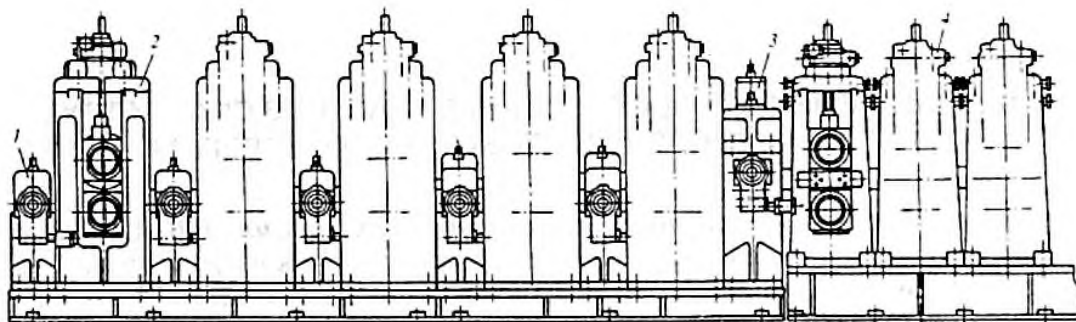


Рисунок 94 – Формовочный стан ТЭСА 203-530 [14]

Кромкогибочная клеть имеет двухвалковую обойму с внутренними валками, установленными на подвижной панели, которая закреплена на крышке станины, и два наружных ролика, размещенных в корпусах, которые расположены в станине. Наружные кромкогибочные ролики перемещаются от электродвигателя.

На входной и выходной сторонах кромкогибочной клетки установлены цилиндрические ролики.

На формовочном стане предусмотрена возможность производства тонкостенных труб с криволинейной образующей дна трубной заготовки с применением роликовых проводок, устанавливаемых на участке формовочного стана вместо вертикальных клетей.

Калибровочный стан (рисунок 95) состоит из четырех горизонтальных 1 и двух правых 2 клетей. Привод клетей двухшпиндельный, индивидуальный выполнен аналогично приводу клетей с закрытым калибром формовочного стана. Конструкция клетей калибровочного стана унифицирована с клетями формовочного стана с закрытым калибром.

Перевалка валков формовочного и калибровочного станов осуществляется клетями, предварительно настроенными на стенде вне линии стана.

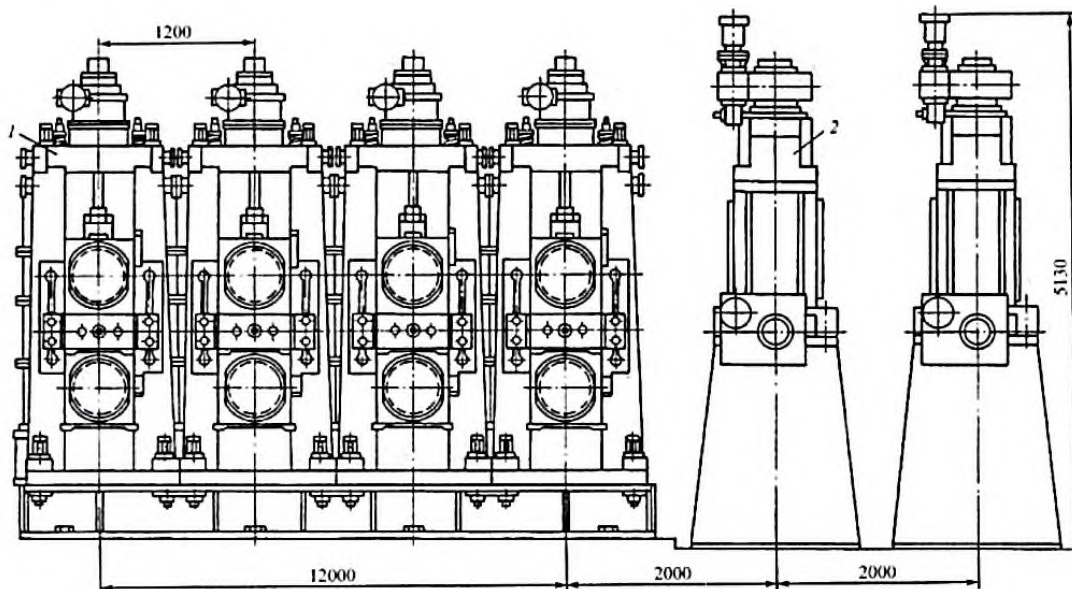


Рисунок 95 – Калибровочный стан ТЭСА 203-530 [14]

Трубо сварочная машина ТЭСА 203-530 (рисунок 96) состоит из следующих основных узлов: направляющей, сварочной и гладильной клетей, сварочного генератора, индуктора, накателя и наружных гратоснимателей. Техническая характеристика трубо сварочной машины ТЭСА 203-530 приведены в таблице 8.

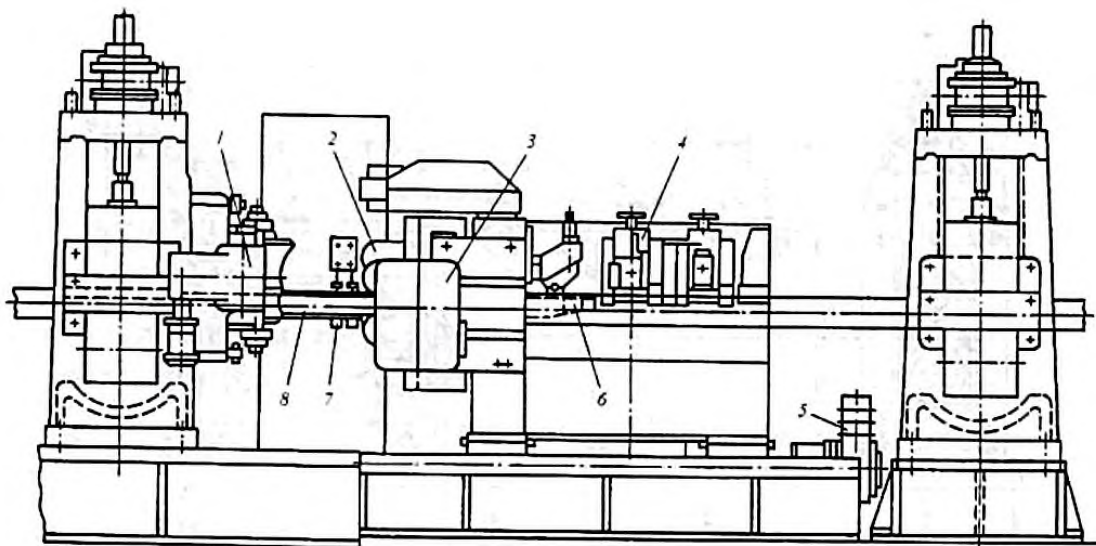
Таблица 8 - Техническая характеристика трубо сварочной машины ТЭСА 203-530 [14]

|   |                    |
|---|--------------------|
| Скорость сварки, м/мин  | 45...80            |
| Нагрев кромок   | т.в.ч.             |
| Метод подвода тока к кромкам заготовок  | бесконтактный      |
| Частота тока, кГц   | 440                |
| Тип источника питания   | Ламповый генератор |
| Мощность генератора, кВт  | 1000               |
| Усиление сварки (наибольшее), кН при скорости наибольшей  | 50                 |
| наименьшей  | 320                |
| Масса машины (без электросварочного и высокочастотного оборудования и без гладильной клетки), т | 36,5               |

Сварка производится с применением высокочастотного нагрева кромок трубной заготовки в охватывающем индуктора. Угол схождения кромок трубной заготовок и режим натяжения кромок регулируется валками направляющей клетки и перемещением сварочной клетки вдоль оси стана. Усилие на сварочные валки и измеряется встроенными гидравлическими месдозами. Усилие на валки гладильной клетки измеряется и ограничивается пневмогидравлическими месдо-



зами-компенсаторами. Резцы гратоснимателей вводятся в работу и выводятся на ходу стана вручную, а при остановке стана – автоматически.



1 - направляющая клетка; 2 - сварочные валки; 3 - нажимной механизм;  
4, 6 - наружный и внутренний гратосниматели соответственно; 5 - привод  
перемещения сварочной клетки; 7,8 - охватывающий и внутренний  
индукторы соответственно

Рисунок 97 – Трубосварочная машина ТЭСА 203-530 [14]

## 25 Расчеты прошивных станов

При нормальном процессе прошивки валки должны занимать в рабочей клети определенное положение. Для этого в клетях предусмотрены нажимные устройства горизонтальной установки валков, устройства для уравнивания и осевой установки валков. В качестве нажимных устройств применяют специальные механизмы с нажимными винтами. Такой винт воспринимает усилие на валки при прошивке, приходящееся на одну шайбу вала, и передает его через нажимную гайку станине. Нажимные винты изготавливают из сталей Ст5, 40Х, 40ХН с упорной профильной резьбой. Нажимной винт во время работы подвергается сжатию усилием, передаваемым от валка на подушку. По этому усилию  $P$  осуществляют расчет винта на прочность без учета его продольного изгиба.

При стальных валках наружный диаметр винта обычно составляет 0,55...0,62 диаметра шейки; внутренний его диаметр определяют по формуле:

$$d = \sqrt{4P/(\pi[\sigma])},$$

где  $d$  – внутренний диаметр нарезки винта;

$p$  – максимальное усилие, действующее на винт при прошивке;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение на сжатие винта, с учетом пятикратного запаса прочности принимаемое равным 120...150 Н/мм<sup>2</sup>.

При определении срока службы подшипников качения расчет ведут для подшипника, воспринимающего как радиальную, так и осевую нагрузку.

Приведенную нагрузку на подшипник определяют по формуле:

$$Q_1 = (P + G)/2 + m_1 T,$$

где  $G$  – масса рабочего валка;

$m_1$  – коэффициент приведения осевой нагрузки и радиальной. Для четырехрядных конических подшипников  $m_1 \approx 0,04 \operatorname{ctg} \beta$ ,

где  $\beta$  – угол наклона образующей наружного кольца подшипника.

Нагрузка  $Q_1$  действует на подшипник во время прокатки. Во время холостого хода на подшипник действует нагрузка  $G/2$ .

Эквивалентная нагрузка на подшипник:

$$Q_{\text{экр}} = \sqrt[3,33]{\beta_1 Q_1^{3,33} + \beta_2 Q_2^{3,33}},$$

где  $\beta_1 = t/T$ ;

$\beta_2 = 1 - \beta_1$ ;

$t$  – время нахождения металла в валках при прошивке;

$T$  – время цикла.

Долговечность подшипника определяют по формуле:

$$(nh)^{0,3} = c/(Q_{\text{экв}}k_6k_T),$$

где  $n$  – частота вращения вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$h$  – долговечность подшипника, ч;

$c$  – коэффициент работоспособности подшипника;

$k_6$  – коэффициент режима работы, принимают для рабочих валков прошивного стана равным 1,8...2,5;

$k_T$  – температурный коэффициент, принимают для подшипников валков прошивных станом равным 1.

При нормальной настройке стана значительные усилия на верхнюю линейку не передаются. При поломке одного шпинделя весь крутящий момент передается через один валок. Окружное усилие, возникающее на валке, стремится поднять заготовку вверх, чему препятствует верхняя линейка. То есть, при поломке одного из шпинделей верхняя линейка воспринимает усилие

$$Q = (M_{\text{кр}}/D_{\text{min}}) - G,$$

где  $G$  – масса траверсы механизма установки верхней линейки.

Винт механизма верхней линейки при этом растягивается усилием

$$Q_1 = Q/2.$$

Напряжение в винте  $\sigma = Q_1/F_{\text{min}}$ ,

где  $F_{\text{min}}$  – площадь наименьшего сечения винта.

Изгибающий момент, действующий на крылья траверсы:

$$M_{\text{изг}} = Q_1l_1,$$

где  $l_1$  – расстояние от винта до сечения, в котором определяют напряжение.

Напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{изг}} = M_{\text{изг}}/W,$$

где  $W$  – момент сопротивления изгибу в этом же сечении.

## 26 Расчеты автоматических станов

Рабочие валки автоматических станов всех типоразмеров в настоящее время монтируют на подшипниках качения. На подшипники действует нагрузка

$$Q = A + mR,$$

где  $m = (2,6 \operatorname{tg} \gamma)^{-1}$ ;

$\gamma$  – угол контакта тел качения с наружным кольцом подшипника.

Так как значения  $A$  и  $R$  переменные и разные трубы прокатываются при разном числе оборотов рабочих валков, эквивалентную нагрузку на подшипник определяют по формуле

$$Q_{\text{ЭКВ}} = \sqrt[3,33]{\alpha_1 \beta_1 Q_1^{3,33} + \alpha_2 \beta_2 Q_2^{3,33} + K + \alpha_n \beta_n Q_n^{3,33}},$$

где  $\alpha_i = t_i/T$ ;  $\beta_i = n_i/n$ ;

$t_i$  – время работы подшипника при нагрузке  $Q_i$ ;

$T$  – годовой фонд рабочего времени стана;

$n_i$  – число оборотов валков при нагрузке  $Q_i$ ;

$n$  – число оборотов валков, соответствующее наиболее длительному режиму работы.

Срок службы подшипника определяют по формуле

$$(nh)^{0,3} = c / (Q_{\text{ЭКВ}} k_{\text{б}} k_{\text{к}} k_{\text{т}}),$$

где  $c$  – коэффициент работоспособности подшипника;

$k_{\text{б}}$  – коэффициент безопасности, принимаемый для валковых подшипников автоматического стана равным 2,5;

$k_{\text{к}}$  – кинематический коэффициент, учитывающий влияние вращения внутреннего или наружного кольца подшипника на его долговечность (для валковых подшипников автоматического стана  $k_{\text{к}} = 1$ );

$k_{\text{т}}$  – коэффициент, учитывающий влияние температурного режима на долговечность подшипника (для валковых подшипников автоматического стана  $k_{\text{т}} = 1$ );

$h$  – срок службы подшипника, ч.

Нагрузки на подшипники, возникающие при заклинивании гильзы в валках не должны превышать допустимой статической нагрузки на подшипники.

## 27 Расчеты пилигримовых станов

Диаметры валков пилигримовых станов определяют по следующим эмпирическим зависимостям:

$$D_{и} = 1,35d_{\max} + (550 \dots 600) \text{ мм для больших станов;}$$

$$D_{и} = 1,25d_{\max} + (450 \dots 550) \text{ мм для средних станов;}$$

$$D_{и} = 2,0d_{\max} + 150 \text{ мм для малых станов.}$$

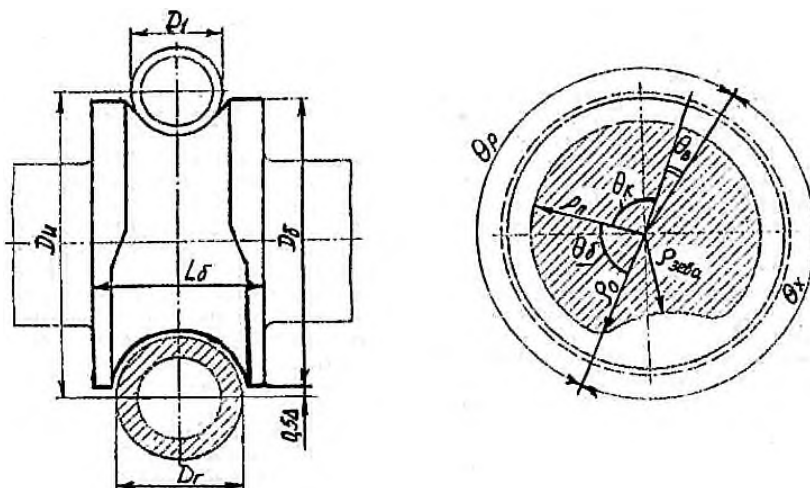
В этих зависимостях  $D_{и}$  – идеальный диаметр валка,  $d_{\max}$  – максимальный диаметр труб, прокатываемых на стане.

Длину бочки рассчитывают по зависимостям:

$$L = 2,5 D_{и} - \text{для малых станов;}$$

$$L = 1,5 D_{и} + 150 \text{ мм - для средних и больших станов.}$$

Ручей валка пилигримового стана имеет две основные части: рабочую, определяемую центральным углом  $\Theta_p$  (рисунок 97), и холостую, определяемую углом  $\Theta_x$ . Для того, чтобы подающий аппарат обеспечивал своевременную подачу и кантовку гильзы, угол холостой части калибра должен быть не менее  $150 \dots 160^\circ$ .



$D_{и}$  - идеальный диаметр;  $D_{б}$  - диаметр бочки валка

Рисунок 97 – Рабочий валок пилигримовой прокатки [1]

Рабочая часть калибра состоит из двух основных участков – участка, определяемого углом  $\Theta_б$  и называемого бойком, которым осуществляется основная деформация обжатия стенки гильзы. На этом участке радиус валка  $\rho_0$  гребня (дна) валка непрерывно возрастает. Второй участок – полирующий или калибрующий  $\Theta_к$  – имеет постоянный радиус  $\rho_к$  валка. На этом участке труба по-

лучает окончательный диаметр и толщину стенки. На дуге угла  $\Theta_p$  происходит переход от рабочего участка к холостому.

За время одного цикла, соответствующего одному обороту валка, получают отрезок трубы длиной

$$l_T = m \cdot \lambda_\Sigma,$$

где  $m$  – подача гильзы;

$\lambda_\Sigma$  - суммарная вытяжка;  $\lambda_\Sigma = F_T/F_T$  ( $F_T$  и  $F_T$  – площади сечения гильзы и трубы соответственно).

Обжатие при периодической прокатке равно разности между высотой рассматриваемого сечения и высотой сечения, отстоящего от рассчитываемого на таком расстоянии, при котором объем, заключенный между этими сечениями, равен объему подачи металла. Таким образом, задача определения обжатия сводится к определению линейного смещения металла  $l_x$  (рисунок 98) в процессе деформации (к определению расстояния между данным сечением и пилигримовой головки и искомым при условии, что объем, заключенный между этими сечениями, равен объему подачи металла:

$$\Delta S_x = S_x - S'_x,$$

где  $S_x$  – высота сечения пилигримовой головки до деформации, в котором определяется обжатие;

$S'_x$  – высота сечения, отстоящего от первого после деформации на длину  $l_x$  смещения:

$$l_x = (S_x - S'_x) \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\beta$  – угол наклона касательной к профилю головки.

Обжатие

$$\Delta S_x = S_x - \sqrt{S_x^2 - 2S_T m \operatorname{tg} \beta}.$$

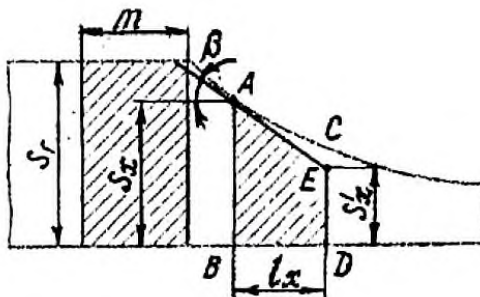


Рисунок 98 – Схема к расчету обжатия при прокатке в пилигримовом стане [1]

Широкое распространение также получила формула П.К. Тетерина:

$$\Delta S'_x = m(F_r/F_x) \operatorname{tg}\beta,$$

где  $F_x$  – площадь поперечного сечения гильзы в рассматриваемом сечении.

Площадь горизонтальной проекции поверхности соприкосновения с достаточной точностью можно определить по формуле:

$$F = \eta D_{\text{cp}} \sqrt{2\Delta S_x \rho_x},$$

где  $\eta$  – коэффициент формы контактной поверхности;

$D_{\text{cp}}$  – средний диаметр калибра в очаге деформации;

$\rho_x$  – радиус валка по дну калибра в рассматриваемом сечении.

Коэффициент  $\eta$  учитывает отклонение задней границы очага деформации от линии центров, площадь языков контактной поверхности, а также неполное заполнение выпусков калибра металлом ( $\eta = 0,96 \dots 1,13$ ).

Среднее давление металла на валки в упрощенном виде равно:

$$P = \sigma_n(1,06 + 0,22l/S),$$

где  $\sigma_n$  – истинное сопротивление металла деформации при линейном напряженном состоянии, которое зависит от марки стали, скорости и степени деформации;

$l$  – длина дуги захвата;

$S$  – средняя толщина стенки в мгновенном очаге деформации.

Вертикальную составляющую, действующую на валки, определяют по формуле:

$$P = pF.$$

## 28 Расчеты редуцирующих и калибровочных станов

Калибровка валков и скоростной режим прокатки в редуцирующих станах в значительной мере определяют качество труб, стойкость технологического инструмента, распределение нагрузок в рабочих клетях и приводе, а, следовательно, и технико-экономические показатели работы оборудования.

Исходными данными для расчета калибровки валков и скоростного режима редуцирования являются исходные и конечные размеры труб, марка стали, коэффициент трения, температура редуцирования, диаметр бочки рабочих валков.

| Заданы   | Требуется определить  |
|--|---|
| Размеры готовой трубы<br>Количество клетей стана<br>Средний коэффициент вытяжки              | Размеры трубы-заготовки<br>Относительное обжатие по диаметру во всех клетях (кроме первой и последней)<br>Форму и размеры калибра по клетям<br>Размеры валков       |
| Размеры трубы заготовки<br>Размеры готовой трубы<br>Суммарный и средний коэффициенты вытяжки | Количество работающих клетей<br>Относительное обжатие по диаметру во всех клетях (кроме первой и последней)<br>Форму и размеры калибров по клетям<br>Размеры валков |

Форма калибров валков редуцирующего стана зависит от заданных исходных данных. При редуцировании труб круглого сечения рациональнее использовать калибр овальной формы как для двухвалковых, так и для трехвалковых клетей (рисунок 99), поскольку трубы, прокатанные в таких калибрах, имеют наименьшую разностенность.

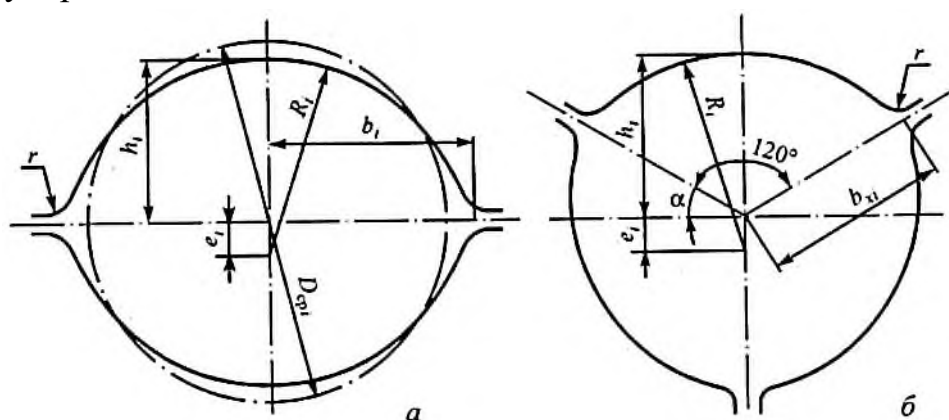


Рисунок 99 – Форма калибров в двух- (а) и трехвалковых (б) редуцирующих станах [14]

Чистовые калибры двух последних клетей выполняют круглыми с радиусом, равным половине диаметра трубы.



Диаметр бочки валка  $D_6 = D_{ред}^{max} + (200 \dots 300)$  мм; длина бочки  $l_6 = D_{ред}^{max} + (80 \dots 120)$  мм.

Величина абсолютного обжатия по диаметру  $\Delta D_{ред}$ , в одной клетке (при постоянном обжатии по всем клетям, кроме первой и двух последних) определяется по графику (рисунок 100).



Рисунок 100 – Распределение обжатий по клетям редукционного стана [14]

Среднее относительное обжатие по диаметру в одной клетке при редуцировании без натяжения:  $\epsilon_{cp} = 100(D_{i-1} - D_i)/D_{i-1} = 4 \dots 5\%$ ; при редуцировании с натяжением в средних клетях:  $\epsilon_{cp} = 7 \dots 12\%$ .

Средние относительные и критические частные обжатия (рисунок 101) для редуцирования труб из легированных, высоколегированных и особенно нержавеющей сталей определяют по графикам, полученным Г.И. Гуляевым. После выбора среднего относительного обжатия проверяют устойчивость трубы при редуцировании по специальной методике.

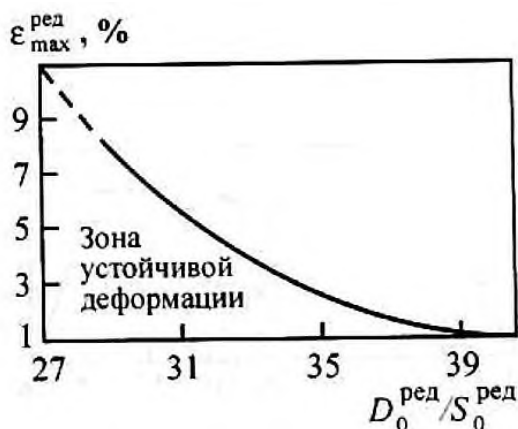


Рисунок 101 – Зависимость критического частного обжатия в клетке от соотношения  $D_0/S_0$  при свободной прокатке в редукционном стане [14]

Число клеток  $n$ , необходимых для редуцирования трубы заданного размера:

$$n = [(\lg D_{ред} - \lg D_0) / \lg(1 - 0,01 \epsilon_{cp})] + 2.$$

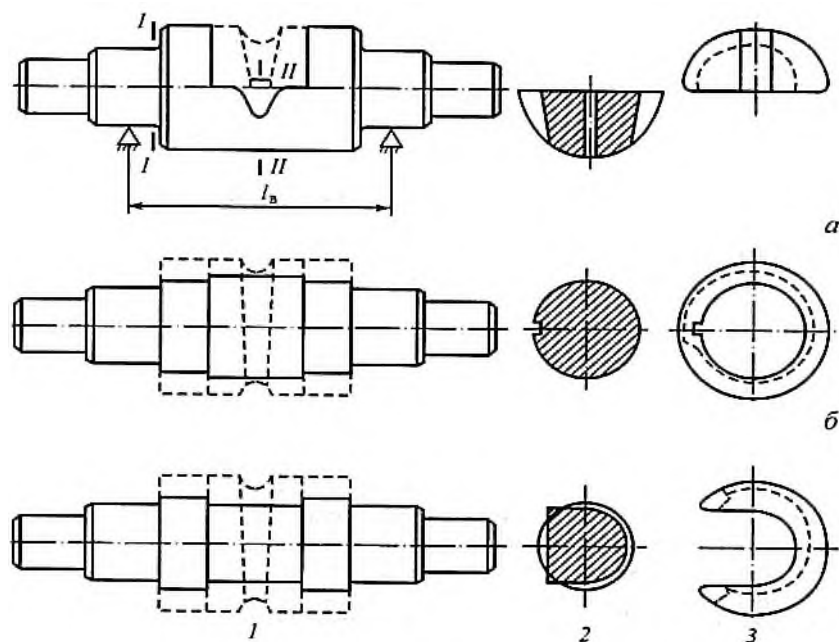
При известном количестве клетей величина среднего относительного обжатия трубы по диаметру по клетям стана определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ср}} = (1 - \sqrt[i-2]{D_{\text{ред}}/D_0}) 100\%.$$

Расчеты основных узлов и деталей калибровочных станов выполняют по существующим методикам. Расчету на прочность подлежат цепная передача, плашковая автоматическая тележка, ходовые колеса и крюк тележки, доски для установки волок, пневматический цилиндр и вал рычагов сбрасывателя готовых прутков.

## 29 Расчеты станов для холодной прокатки труб

Рабочие валки станов ХПТ непосредственно не контактируют с прокатываемой заготовкой и обжатие металла осуществляется специальными калибрами, тем или иным способом прикрепленными к рабочим валкам. В настоящее время получили распространение три типа крепления калибров (рисунок 102). Наиболее распространено закрепление калибра – полудиска в вырезе рабочего валка (рисунок 102, а), и крутящий момент калибру передается через клинья. При втором типе крепления (рисунок 102, б) калибр выполнен в виде кольца, которое насаживают на валок-ось. При третьем типе крепления (рисунок 102, в) подковообразный калибр закрепляется на валке с помощью боковых гаек.



1 - рабочий валок; 2 - разрез II-II; 3 - калибр

Рисунок 102 – Типы крепления калибров станов ХПТ [14]

Рабочий валок рассчитывают на усталость с учетом знакопеременного характера напряжения, при этом чаще всего напряжения проверяют для сечений I-I и II-II (рисунок 102). На рисунке 103 показана схема действия сил на рабочие валки стана ХПТ: вертикальные усилия прокатки  $P$ , окружные  $P_1$  и радиальные  $N_1$  усилия ведущих шестерен; окружные  $P_2$  и  $P_3$  и радиальные  $N_2$  и  $N_3$  усилия ведомых шестерен; распорные силы  $T$  от клиньев, крепящих калибры (только для вырезного валка), а также крутящий момент  $M_{кр}$ .

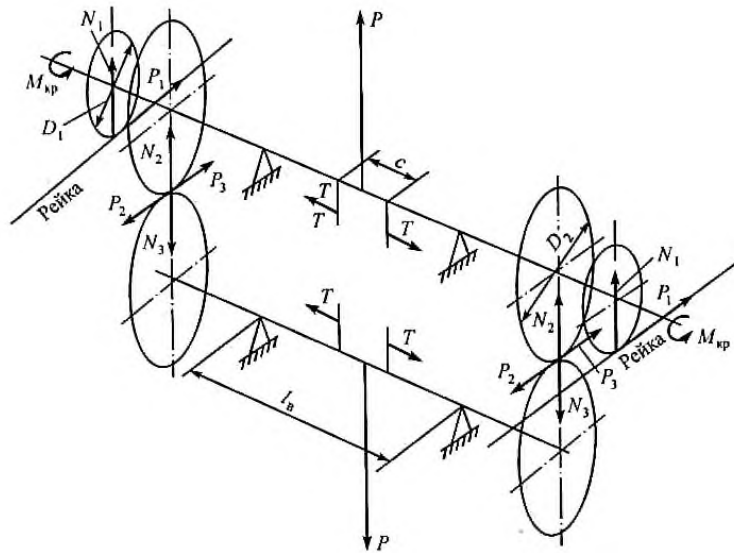


Рисунок 103 – Схемы действия сил на рабочие (вырезанные) валки стана ХПТ [14]

Крутящий момент, действующий на одну шейку рабочего валка, принимается равным половине момента прокатки  $M_{кр} = 0,5M_{пр}$ .

Окружные силы

$$P_1 = M_{пр}/D_1, P_2 = P_3 = M_{пр}/D_2.$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – начальные параметры соответственно ведущей и ведомой шестерен.

Радиальные силы определяются по формулам

$$N_1 = P_1 \operatorname{tg} 20^\circ, N_2 = N_3 P_2 \operatorname{tg} 20^\circ;$$

$P$  и  $M_{пр}$  в общем случае переменны по длине хода рабочей клетки. Достаточно точно значения  $P$  и  $M_{пр}$  могут быть определены по формулам Ю.Ф. Шевакина:

$$P = K_\delta K_\alpha \sigma_{в50} (D_3 + D_{тр}) \sqrt{m \mu_3 (t_3 - t_{тр}) R_{ср} / l_{ср}},$$

$$M_{пр} = P R_{расч} (0,1 + 1,25 \sqrt{1,4 \Delta t_{ср} / R_{расч}}),$$

где  $K_\delta$  – коэффициент, зависящий от характера упрочнения металла, равный 1,42 для черных металлов и сплавов, сплавов титана и 1,10...1,17 для сплавов на основе меди и алюминия;

$K_\alpha = \sqrt{(\operatorname{tg} \alpha) / \alpha}$  – коэффициент, учитывающий влияние конусности оправки;

$\alpha$  – средний угол наклона образующей оправки к ее оси;

$\sigma_{в50}$  – предел прочности материала при 50% деформации;

$D_3$  – диаметр заготовки;

$D_{тр}$  - диаметр готовой трубы;  
 $S_3$  - толщина стенки заготовки;  
 $S_{тр}$  - толщина стенки трубы;  
 $m$  - величина подачи;  
 $\mu_{\Sigma}$  - суммарный коэффициент вытяжки;  
 $R_{ср} = R_6 - 0,125(D_3 + D_{тр})$  - средний радиус гребня ручья;  
 $R_6$  - радиус бочки калибра;  
 $L_1$  - длина рабочей части ручья без калибрующего участка;  
 $R_{расч} = R_6 - 0,125(D_3 - D_{тр})$  - расчетный радиус вала;  
 $\Delta t_{ср}$  - среднее обжатие за цикл:

$$\Delta t_{ср} = m(1 + 2 \mu_{\Sigma}) \cdot (t_3 - t_{тр}) / (1,8 L_{раб}),$$

где  $L_{раб}$  - длина рабочей части ручья.

Эпюры изгибающих и крутящих моментов показаны на рисунке 104.

На валках для крепления кольцевых и подковообразных калибров крутящий момент действует по всей длине вала, а момент от действия сил  $T$  отсутствует.

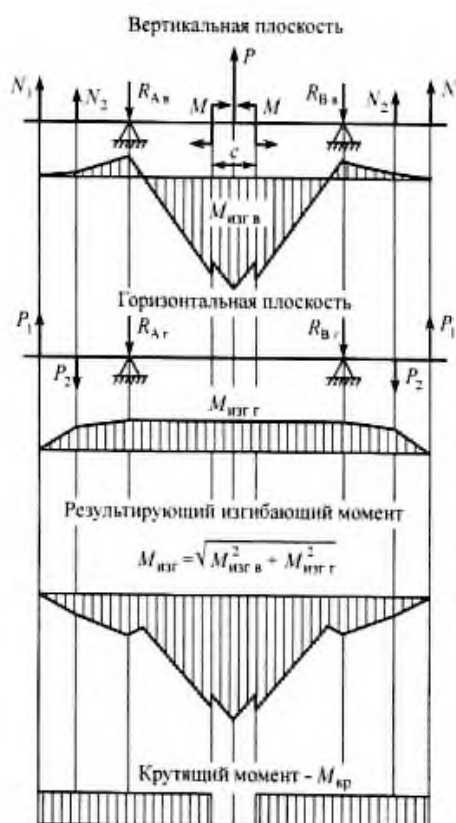


Рисунок 104 – Эпюры изгибающих и крутящих моментов, действующих на верхний (вырезной) валок [14]

Максимальные значения напряжений

$$\sigma_{i\max} = M_{\text{изг } i-1} / W_{\text{изг } i-1}, \quad \tau_{i\max} = M_{\text{кр } i-1} / W_{\text{кр } i-1},$$

где  $i = I, II, III$  - сечение валка.

В частности,  $W_{\text{изг}}$  сечения II – II валка, приведенного на рисунке 102, а, относительно проходящих через центр тяжести осей X-X и Y-Y можно определить так:

$$W_{xx} = \frac{1}{R_{\delta} - \eta} \left\{ 0,11R_{\delta}^4 - 2 \left[ \frac{b_1 h^3}{36} + \frac{b_1 h}{2} \left( \eta - \frac{\eta}{3} \right)^2 \right] - \frac{b R_{\delta}^3}{12} b R_{\delta} \left( \frac{R_{\delta}}{2} - \eta \right)^2 \right\},$$

$$W_{yy} = 0,4 \frac{R_{\delta}^4}{b^2} - \frac{2}{b^2} \left[ \frac{b_1^3 h}{36} + \frac{b_1 h}{18} \left( b^3 + 2b^2 \frac{2}{3} b_1 \right)^2 \right] - \frac{b^3 R_{\delta}}{12b_2},$$

где  $\eta$  – положение центра тяжести:  $\eta = 4R_{\delta}/3\pi$ ,

величины  $b; b_1; b_2; b_3; h$  показаны на рисунке 105, причем

$$b_1 = \frac{0,5R_{\delta}^2(2\beta - \sin 2\beta) + \sin \alpha(R_{\delta}^2 - b_2^2 \cos \alpha)}{\eta},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_2 - b_3}{h}, \quad \sin \gamma = \frac{b_3}{R_{\delta}}, \quad \beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma).$$

В расчетах  $\beta$  используется в радианах.

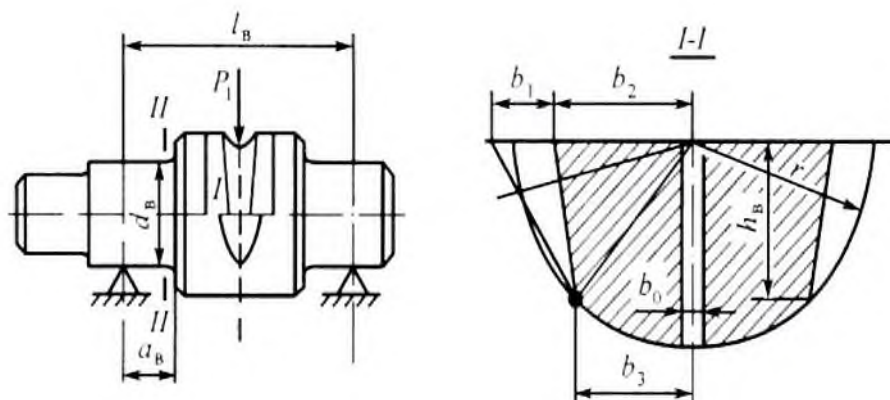


Рисунок 105 – Расчетная схема рабочего валка стана ХПТ [14]

Коэффициент запаса прочности  $n$  определяют по уравнению:

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_{\sigma}^2} + \frac{1}{n_{\tau}^2},$$

где коэффициент запаса по нормальным напряжениям при отсутствии кручения

$$n_{\sigma} = \sigma_{-1} / [(k_{\sigma} \sigma_{\alpha} / \beta_{\varepsilon}) + \psi_{\delta} b_m],$$

коэффициент запаса по касательным напряжениям при отсутствии изгиба

$$n_{\tau} = \tau_{-1} / [(k_{\tau} \tau_{\alpha} / \beta_{\varepsilon}) + \psi_{\tau} \tau_m],$$

где  $\sigma_{-1}$  и  $\tau_{-1}$  – пределы выносливости материала (для стали 30ХГСА  $\sigma_{-1} = 28$  Н/м<sup>2</sup> и  $\tau_{-1} = 15$  Н/м<sup>2</sup>; для стали 35ХМ  $\sigma_{-1} = 38$  Н/м<sup>2</sup> и  $\tau_{-1} = 22$  Н/м<sup>2</sup>);

$k_{\sigma}$  и  $k_{\tau}$  – эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении для рассматриваемого сечения валка (определяются по справочным данным в зависимости от вида и параметра концентратора напряжений);

$\beta$  – коэффициент упрочнения, вводимый для валков с поверхностным упрочнением (поверхностная закалка, химико-термическая обработка, поверхностный наклеп и т.д.);

$\varepsilon$  – масштабный фактор, равный 0,4...0,6 для валков станов ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-75, ХПТ-90;

$\psi_{\sigma}$ ,  $\psi_{\tau}$  – коэффициенты, характеризующие чувствительность материала к асимметрии цикла (для материала валков станов ХПТ  $\psi_{\sigma} = 0,2$  и  $\psi_{\tau} = 0,1$ );

$\sigma_{\alpha}$  и  $\tau_{\alpha}$  – амплитуда первой гармоники функций  $\sigma(t) = \sigma_{\max} \sin 2\pi t/T$  и  $\tau(t)$  (рисунок 106).

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{\max} / 2, \quad \tau_{\alpha} = \tau_{\max} / 2,$$

где  $\sigma_m$ ,  $\tau_m$  – среднее значение  $\sigma(t)$  и  $\tau(t)$  за период:

$$\sigma_m = \sigma_{\max} / \pi; \quad \tau_m = \tau_{\max} / \pi.$$

Коэффициент запаса прочности  $n$  должен быть не менее 1,4.

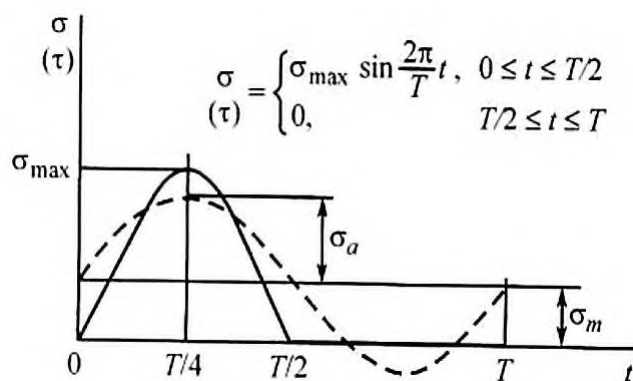


Рисунок 106 – Диаграмма цикла нагрузки ( $T$  – время двойного хода рабочей клетки) [14]

Расчет валковых шестерен на прочность при изгибе производится по формуле

$$\sigma = 0,32 k_x P_1(P_2) / y_3 m_3 b_3 \leq [\sigma],$$

где  $k_x$  – коэффициент характера нагрузки, учитывая реальные условия работы передачи с большими боковыми зазорами (до 2...3 мм), принимают  $k_x = 2,2...2,5$  (неизбежность зазоров определяется необходимостью регулировки валков по высоте);

$y_3$  – коэффициент формы зуба;

$m_3$  – модуль;

$Z_3$  – число зубьев;

$b_3$  – ширина зуба ( $y_3 = 0,106 \dots 0,128$  для  $Z_3 = 20 \dots 30$ ).

Хотя открытые зубчатые передачи не принято рассчитывать на контактную прочность, опыт эксплуатации станов показывает, что основной причиной выхода из строя реек и валковых шестерен является их износ. Учитывая это, для проверки зубьев можно рекомендовать формулу, полученную из известной формулы Герца:

$$\sigma_k = 1500 \sqrt{P_1(P_2)/b_3 m_3 Z_3} \leq \sigma_k,$$

где  $[\sigma_k]$  – в единицах твердости HRC.

В рабочих клетях станов ХПТ с опорными валками давление металла на валки  $P_\Sigma$  ограничивается допустимыми контактными напряжениями:

$$P_\Sigma = 5,70 [\sigma_k]^2 l_b \rho \rho_{оп} / E(\rho + \rho_{оп}),$$

где  $E = 2,06 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  – модуль Юнга,

$\rho$  – радиус рабочего валка, мм;

$\rho_{оп}$  – радиус опорного валка, мм;

$l_b$  – длина бочки валков на участке контакта, мм;

$[\sigma_k] = 150 \dots 200 \text{ Н/мм}^2$  – допустимое контактное напряжение.

По методике Ю.Ф. Шевакина можно определить основные параметры новых станов ХПТ с учетом заданного сортамента (по размерам и материалам) и производительности, а также установить наиболее рациональную рабочую схему стана и тип крепления калибров.

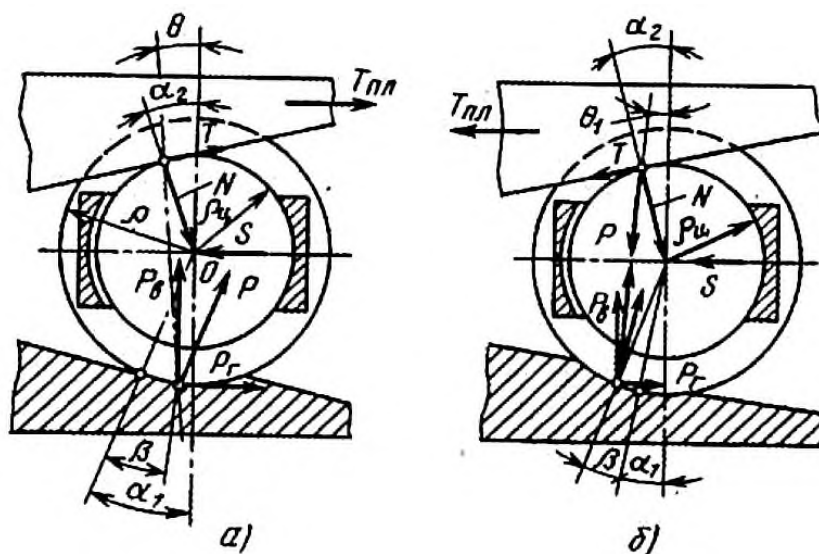
При определении основных параметров станов ХПТ с опорными валками необходимо исходить не из производительности стана, а из допущенного давления. Принимают среднее усилие давления металла на валки для заданного сортамента труб, имея ввиду, что для схемы с опорными валками наиболее целесообразен первый тип крепления (рисунок 102, а).

При конструктивной проработке варианта стана ХПТ с опорными валками необходимо сравнение с двухвалковой схемой стана.



### 30 Расчеты роликовых станов холодной прокатки

Во время прокатки на ролики действуют силы  $P$  со стороны деформируемого металла и сила  $N$  воздействия опорных планок. Кроме того, на большей части двойного хода клетки на ролики передается сила  $S$  от сепаратора, когда скорость движения роликов и сепаратора не полностью согласованы. В зависимости от настройки привода сепаратора сила  $S$  может способствовать передвижению роликов или тормозить их движение. Силы, действующие при прямом и обратном ходах клетки, приведены на рисунке 107.



а - прямом; б - обратном

Рисунок 107 – Схема, используемая при определении сил, действующих на ролик при ходах клетки [13]

Ввиду того, что углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\beta$  малы, можно принять

$$P_{\text{в}} = P = N.$$

Тогда сила, необходимая для перемещения опорной планки в горизонтальном направлении

$$T_{\text{пл}} = P \frac{\rho_{\text{ц}} \sin \alpha_2 - \rho \sin(\alpha_1 - \beta)}{\rho_{\text{ц}} + \rho} + S \frac{\rho}{\rho_{\text{ц}} + \rho},$$

где  $\rho_{\text{ц}}$  и  $\rho$  – радиусы цапфы и дна ролика соответственно.

В этой формуле дробь при  $P$  есть не что иное как синус угла наклона к вертикали равнодействующей давления металла на ролик.

Таким образом, суммарная сила, необходимая для перемещения клетки с  $n$  роликами

$$T_{\text{кл}} = n \left[ P \sin \theta + S \frac{P}{P_{\text{ц}} + P} \right].$$

Сила, необходимая для возвратного движения клетки,

$$T'_{\text{кл}} = n \left[ P \sin \theta_1 - S \frac{P}{P_{\text{ц}} + P} \right].$$

Расчет сил и момента прокатки, действующих на криволинейный вал, выполняют также, как и для прокатки валковых станов ХПТ.

Скорость поступательного движения роликов при прокатке  $V_p$  зависит от скорости движения рабочей клетки  $V_{\text{кл}}$  и отношения радиуса цапф к катающему радиусу ручья роликов (рисунок 108):

$$V_p = \frac{V_{\text{кл}}}{1 + \frac{\rho_{\text{ц}}}{\rho_{\text{к}}}}$$

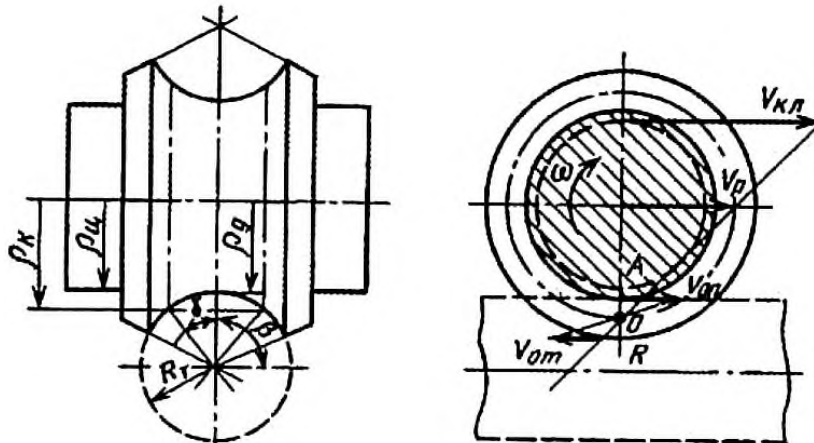


Рисунок 108 – Схема, используемая при определении скорости движения роликов [13]

Роликам при прокатке сообщается поступательное движение благодаря их контакту с прокатываемой трубой и опорной планкой рабочей клетки.

Так как ролики установлены в сепараторе, то скорость движения сепаратора  $V_c$  должна быть равна скорости перемещения роликов  $V_p$ . Даже при небольшом рассогласовании скоростей нарушается нормальный процесс прокатки. Заготовку сдергивает с оправки, на поверхности готовых труб появляются следы скольжения.

Необходимое соотношение скоростей достигается двуплечим рычагом 1 (рисунок 109).

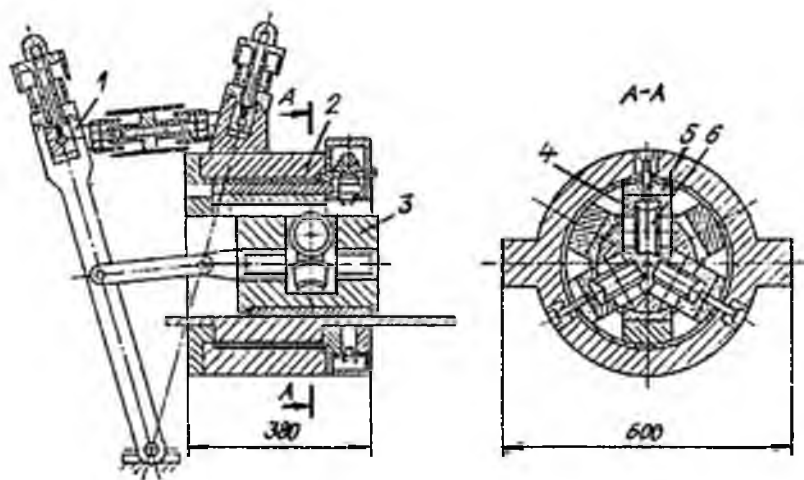


Рисунок 109 – Рабочая клетка стана ХПТР 30-60 [14]

## 31 Расчеты машин и агрегатов для производства сварных труб

Оборудование трубосварочного стана состоит из трех участков: подготовки ленты; формовки, сварки и калибровки; резки и уборки труб.

Технологический маршрут участка подготовки включает доставку ленты в рулонах и установку ее на разматыватель. С разматывателя лента после обрезки переднего и заднего концов ножницами проходит на пятивалковую правильную машину с подъемной поворотной траверсой. На траверсе установлены два вала и на подушках нижней станины еще три в шахматном порядке. Валки траверсы и два первых по ходу правки нижних валков приводные. Пятый валок выполнен холостым. Выправленная лента поступает в стыкосварочную машину, включающую сварочный аппарат и гратосниматель. Здесь передний конец ленты, проходящей правку, и задний конец ленты, уже прошедшей правку, плотно свариваются.

Тянущие ролики, установленные за стыкосварочной машиной, протягивают получившийся шов ленты через гратосниматель. При этом происходит зачистка шва ножами.

Лента собирается в петлеобразователе. Здесь создается необходимый ее запас для непрерывного технологического процесса.

Формовочно-сварная линия ТЭСА 20-76 состоит из: устройства для образования петли; формовочного стана; трубосварочной машины с высокочастотной установкой; охлаждающего агрегата и профильно-калибровочного стана.

Передняя линия стана включает устройство для образования петли перед формовочным станом для стабилизации формовочных процессов.

Формовочный стан объединяет общая плита, на которой установлены две неприводные вертикальные клетки, затем шесть приводных горизонтальных клеток и между ними еще пять неприводных вертикальных. Отформованная - свернутая в трубу лента попадает в трубосварочную машину, где происходит сварка стыка, снятие грата и выравнивание шва в гладильной клетке. Окончательное выправление формы трубы происходит в профильно-калибровочном стане, состоящим из принимающей вертикальной клетки, четырехвалковых горизонтальных калибровочных клеток и правильной линии.

Окончательный технологический маршрут включает устройства для резки трубы на мерные длины, контроль качества, маркировку и упаковку труб.

Горизонтальная клетка трубоформовочного стана (рисунок 110) состоит из станины, составленной из двух частей 3 и 21 и установленной внутри рамы, собранной из поперечин 1, 17 и стоек 2, 22. Части станины монтируются на пальцах 5, 19, закрепленных в поперечинах 1, 17, в плоскости, проходящей через ось формовки. В пазах станины установлены подушки 10 и 23 валков 18 и 20. Валки закреплены на нижних 24 и верхних 8 валах, которые установлены на

подшипниках качения 9 в подушках. Положения подушек по высоте регулируется устройствами 4, 11, 25 и по горизонтали устройствами 6 и .7 Поворот станины в вертикальной плоскости осуществляется с помощью винта 12 с конусом 13. Вертикальные перемещения винта 12 и его конуса 13 разворачивают станину с помощью упора в клиновидный выступ 14, закрепленный на станине, и пружины 15, разворачивающей станину между выступом 14 и кронштейном 16 поперечины.

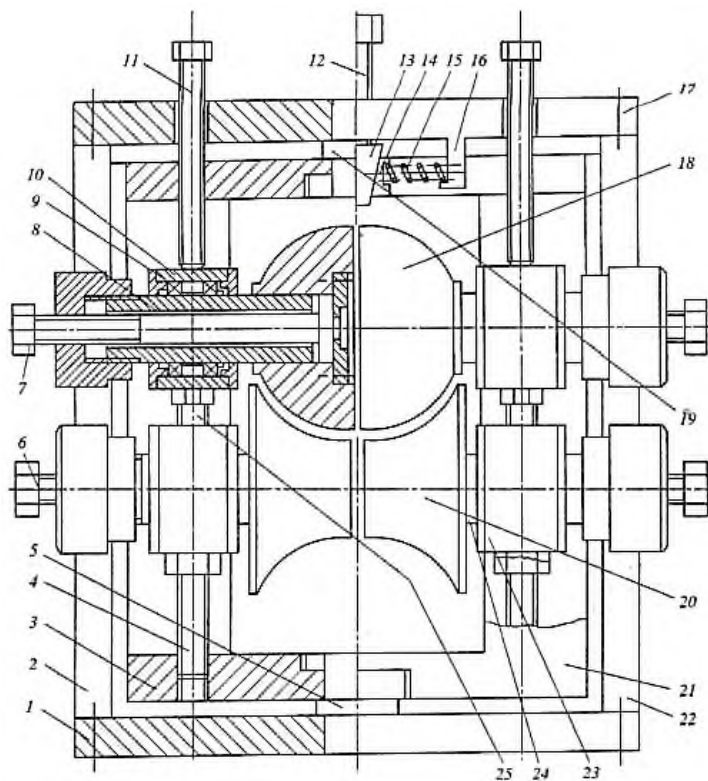


Рисунок 110 - Горизонтальная клеть трубоформовочного стана [9]

Станина вертикальной формовочной клетки (рисунок 111) состоит из неподвижной части 15, жестко закрепленной к плите 16. Подвижная часть 7 шарнирно (10) установлена в неподвижной станине. В пазах подвижной станины расположены подушки 6 вертикальных валков 1 и 3. Валки монтируются на полых валах, установленных в роликовых конических подшипниках. Регулировка валков по высоте проводится с помощью крышек 5 и болтов 4. Горизонтальную настройку валков обеспечивает система винтов 8. Угловая настройка вертикальных валков проводится винтом 11, упирающимся в кронштейн 9 подвижной станины. Горизонтальный валок 2 закреплен на валу 12, вращающемся на подшипниках качения в раме 14. Положение валка регулируется кольцами и закрепляется крышками 13. Указанная регулировка стабилизирует деформационный процесс.

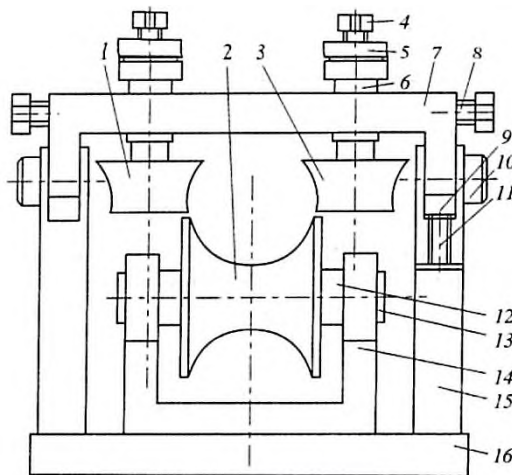
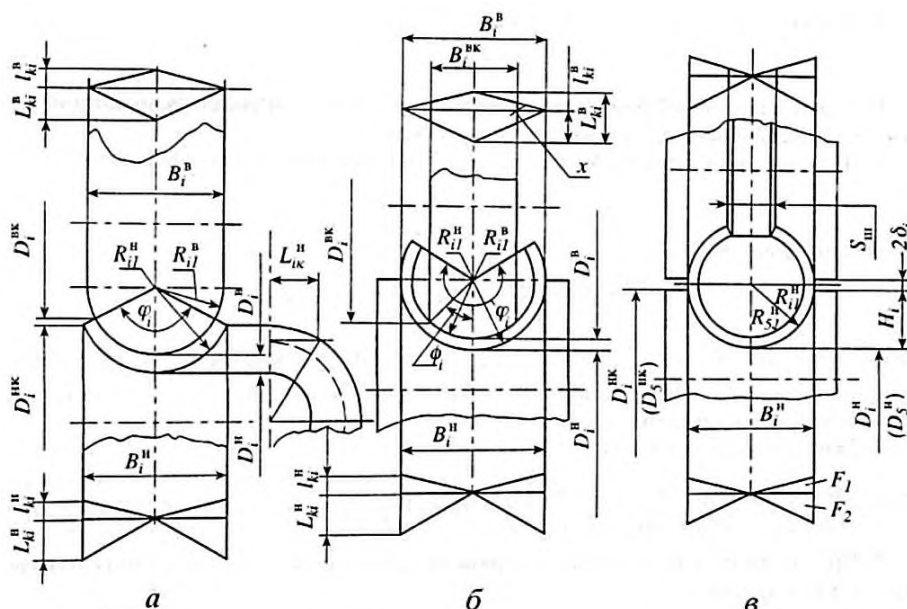


Рисунок 111 – Вертикальная клеть трубоформовочного стана [9]

Конструкция калибровочных станов аналогична описанной выше.

Расчеты параметров деформаций и тянущих усилий представлены на рисунке 112.



а - первая и вторая клеть; б - третья и четвертая клеть; в - пятая клеть  
Рисунок 112 - Схемы расчета параметров деформаций и тянущих усилий в калибрах формовочных клеток [9]

Для первой клетки (рисунок 112, а) по методике А.П. Коликова последовательно определяются геометрические параметры контакта заготовки с калибрами для нижнего и верхнего валков:

1. Диаметр нижнего валка  $D_i^{HK}$  в сечении с кромкой заготовки

$$D_i^H = D_i^H + 2R_{i_1}^H \left( 1 - \cos \frac{B_i}{2 \cdot R_{i_1}^H} \right)$$

где  $D_i^H$  - диаметр нижнего валка по дну калибра;

$R_{i1}^H$  - радиус формовки нижнего валка;

$B_i$  - ширина заготовки в контакте с валком.

2. Высота профиля в калибре

$$H_i = \frac{D_i^{Hk} - D_i^H}{2}.$$

3. При входе в калибр высота профиля  $H_{iBx} = 0,94H_i$ .

4. Длина контакта кромки с валком

$$L_{ik}^H = R_{i1}^H \cdot \arccos \left( \frac{0,5 \cdot D_i^H + H_{ibx}}{R_{i1}^H} \right).$$

Длина контакта кромки с валком с учетом пружинения  $l_{ik} = 0,1 \times L_{ik}$ .

5. Катающий диаметр нижнего и верхнего валков

$$D_{ik}^H = \frac{V_{л} \cdot 1000}{\pi \cdot n_1^H} \text{ и } D_{ik}^B = \frac{V_{л} \cdot 1000}{\pi \cdot n_1^B},$$

где  $V_{л}$  - скорость формовки;

$n_1^B, n_1^H$  — частота вращения нижнего и верхнего валков.

6. Контактующая площадь металла с нижним и верхним валками

$$F_i^H = 0,55 \cdot l_{ik} \cdot B_i = F_i^B.$$

7. Тянущее усилие

$$T_i = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \cdot \left( B_i \cdot \frac{S^2}{2R_{i1}^H} + f \cdot F_i^H \cdot 2 \right),$$

где  $S$  - толщина трубы.

8. Крутящий момент на валке

$$M_i^B = T_i \cdot \left( \frac{D_{ik}^B}{2} + \frac{D_{ik}^H}{2} \right).$$

9. Мощность на формовку в клети

$$N_i = M_i \cdot \omega_i.$$

Расчеты на третьей и четвертой клетки (рисунок 112, б) проводятся аналогично до пункта 6. Дальнейшее продолжение расчета включает:

6. Определение контактной площади трубной заготовки с нижним валком:

$$F_i^H = 0,55 \cdot L_{ik}^H \cdot B_i^H$$

и с вертикальным валком:

$$F_i^B = 0,55 \cdot \left( L_i^B + \frac{B_{iоп}^B L_{ik}^H}{B_{ik}^H} \right) B_{iоп}^B,$$

где  $B_{iоп}^B = 2 \cdot R_i^B \arccos \frac{B_i^B}{2R_i^H} - R_{i_1}^H - S,$

$R_{i_1}^B, R_{i_1}^H$  – радиус формовки в верхнем и нижнем валках;

$B_{iоп}^B$  – ширина трубной заготовки с верхним валком в зоне опережения;

$B_i^B$  – ширина верхнего валка.

7. Тянущее усилие в клетки

$$T_i = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ B_i^H \cdot \frac{S}{2} \left( \frac{S}{2 \cdot R_i^H} - \frac{S}{2 \cdot R_{i-1}^H} \right) + B_i^B \cdot \frac{S}{2} \left( \frac{S}{2 \cdot R_i^B} - \frac{S}{2 \cdot R_{i-1}^B} \right) - f \cdot (F_i^H + F_i^B) \right].$$

8. Крутящий момент и мощность привода применяются в соответствии с пунктами 8 и 9 предыдущего расчета.

На последней пятой клетки (рисунок 112, в) последовательно вычисляются:

1. Зазор между валками

$$\delta_5 = \frac{D_5^H}{2} + R_{5.1}^H - \frac{D_5^{HK}}{2}.$$

2. По зазору вычисляется высота профиля

$$H_5 = R_{5.1}^H - \delta_5.$$

3. Высота профиля при входе заготовки в валок

$$H_5^B = 1,06 R_{5.1}^H \cdot \left( 1 - \cos \frac{R_{5.1}^H \cdot 3,14 - 2\delta_5}{2,12 \cdot R_{5.1}^H} \right).$$



#### 4. Длина контакта кромки с валком

$$L_{5.1}^H = \frac{D_{5.1}^H}{2} \cdot \arccos \frac{\frac{D_5^H}{2} + H_5^B}{\frac{D_5^H}{2} + H_5}$$

#### 5. Катающие диаметры

$$D_{5.k}^H = V_{л} \cdot \frac{1000}{\pi \cdot n_5^H} \text{ и } D_{5.k}^B = V_{л} \cdot \frac{1000}{\pi \cdot n_5^B}$$

#### 6. Площадь взаимодействия металла с нижним и верхним валками

$$F_5^H = 0,55 L_{5.k}^H \cdot (R_{5.1}^H \cdot \pi - 2 \cdot \delta_5) \text{ и}$$

$$F_5^B = 0,55 \left[ L_{5.k}^H + \frac{L_{5.k}^H \cdot 4 \cdot S}{R_{5.1}^H \cdot 3,14 - 2 \cdot \sigma_5} \right] (R_{5.1}^H \cdot \pi - 2 \cdot \delta_5 \cdot S_{ш}),$$

где  $S_{ш}$  – ширина разрезной шейки в 5-ом калибре.

#### 7. Тянущее усилие

$$T_5 = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ (B_1 - 4 \cdot \delta_5) \cdot S \cdot \left( \frac{S}{2 \cdot R_5^H} - \frac{S}{2 \cdot (R_5^H + 5)} \right) - f \cdot (F_5^H + F_5^B) \right]$$

#### 8. Крутящий момент и мощность приводов

$$M_{кр} = T_5 \cdot (D_{5.k}^B + D_{5.k}^H) \cdot 0,5 \text{ и } N_5 = M_{кр.5} \cdot \omega.$$

Общая мощность по всем клетям и общий к.п.д.

$$N_{об} = \sum N_i / \eta_{об} \text{ и } \eta_{об} = \eta^k,$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – число клеток.

После уточнения всех параметров работы формовочного стана с такой же детальностью аналитически вычисляются расчетные данные сварочного и калибровочного станков. Они имеют типовые клетки и рассчитываются в той же последовательности и по той же методике.

## 32 Конструкции гидравлических прессов

При производстве труб, прутков, профилей прессование (процесс выдавливания металла из замкнутой полости через отверстие требуемой формы в матрице) является не только основной заготовительной операцией, но и в ряде случаев окончательной операцией. Оно обеспечивает возможность деформации металла с наибольшими обжатиями по сравнению со всеми другими видами обработки давлением и позволяет получать изделия самой различной конфигурации. Прессованием можно получать изделия из материалов, не поддающихся прокатке и волочению вследствие того, что заготовка при прессовании подвергается всестороннему сжатию.

Время переналадки инструмента при прессовании меньше, чем при прокатке, что особенно важно при производстве полуфабрикатов из цветных металлов, характеризующихся широким сортаментом изделий и сравнительно небольшими объемами продукции одного размера.

Гидравлические прессы классифицируют по конструктивным особенностям, технологическому назначению, методу прессования.

По основным конструктивным особенностям различают вертикальные и горизонтальные прессы; по технологическому назначению – прессы для получения прутков, профилей и труб; прессы для КШП (ковочные, штамповочные, гибочные, прошивные, вытяжные и другие); по методу прессования (горизонтальные прессы для получения прутков, профилей и труб) – прессы с прямым и обратным прессованием слитка и прессы с использованием активных сил трения на контейнере.

Характерными конструктивными особенностями прессов являются расположение силовых цилиндров и тип станины. Силовые цилиндры в прессах могут располагаться вертикально или горизонтально. Вертикальные прессы применяют, в основном, в кузнечно-штамповочном производстве, а горизонтальные прессы – для получения труб, прутков и профилей. По типу станины прессы делятся на колонные (двух-, трех- и четырехколонные), рамные и консольные. Горизонтальные прессы получили широкое распространение благодаря большой производительности, простоте автоматизации, возможности прессования более длинных изделий, а также изделий большого поперечного сечения. Горизонтальные прессы подразделяют по виду прессуемого изделия на прутковые и профильные. Трубопрофильные прессы имеют прошивную систему, а прутковопрофильные – нет. Тяжелые горизонтальные прессы обычно проектируют как универсальные машины, способные выполнять различные сложные работы. Для этого их оснащают различными средствами механизации, необходимыми для подачи плоских или круглых слитков, плоских или круглых

пресс-шайб, устройств для отделения пресс-остатков, резки и уборки готовых изделий со стола.

Достоинства метода прямого прессования и сплошных, и полых изделий – широкий диапазон размеров прессуемых изделий, возможность использования подвижных и застопоренных игл, удобство расположения независимой прошивной системы, простота механизации и автоматизации процессов. Недостаток прямого прессования состоит в том, что в процессе выдавливания слиток перемещается относительно контейнера. Преодоление реактивных сил трения между контейнером и слитком требует дополнительно значительных затрат энергии.

При обратном прессовании слиток не перемещается относительно конвейера, поэтому общее усилие прессования снижается, так как отсутствуют затраты энергии на преодоление сил трения между контейнером и прессуемым металлом. Однако при обратном методе прессования затруднена механизация разделения матрицы, изделия и пресс-остатка, особенно на универсальных прессах. Это увеличивает вспомогательное время и приводит к потере упомянутых ранее преимуществ.

Метод прессования с использованием активных сил трения на контейнере (активное прессование) наиболее универсальный. И прямое и обратное прессование являются частными случаями активного прессования. Метод активного прессования обеспечивает высокую равномерность течения и однородность деформации материала, что приводит к повышению выхода годного и производительности при прессовании и к более высоким качественным характеристикам пресс-изделий. Но для реализации этого метода необходимы специализированные прессы с мощным приводом контейнера.

Для работы гидравлических прессов необходимы источники низкого (0,4...0,8 МПа) и высокого давления жидкости (32 МПа). Низкое давление жидкости используется для совершения холостого хода.

### 33 Конструкции приводов гидравлических прессов

В гидропрессовых установках используется мультипликаторный и насосный привод. Рабочей жидкостью в мультипликаторных приводах служит минеральное масло, в насосных – эмульсии. Насосный привод выполняется аккумулятором и без него. Мультипликаторный привод выполняется с паровоздушным и механическим мультипликаторами.

На рисунке 113 представлен насосно-безаккумуляторный привод.

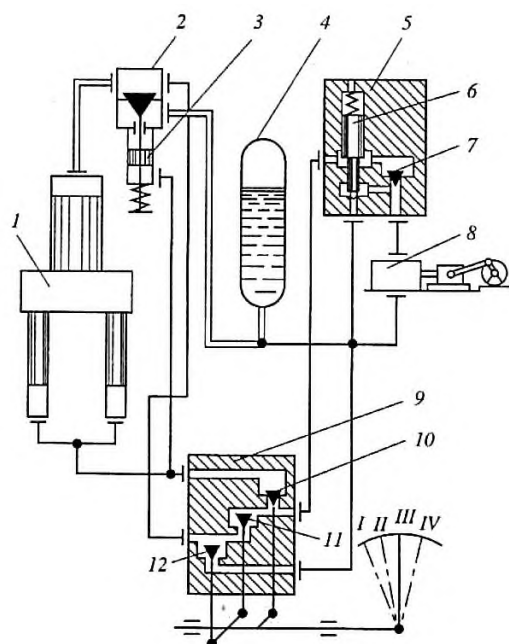


Рисунок 113 – Насосно-безаккумуляторный привод [9]

Регулирование подачи рабочей жидкости к главному цилиндру 1 пресса осуществляет наполнительный клапан 2. Во время холостого хода клапан подает в цилиндр питание низкого давления, при рабочем ходе насос 8 подает высокое давление к прессу. При обратном ходе пресса сервопривод 3 поднимает клапан 2 и жидкость из рабочего цилиндра поступает в наполнительный бак 4. Уровень давления в наполнительном баке ( $0,4 \div 0,8$  МПа) поддерживает автомат разгрузки 5. В автомате имеется циркуляционный клапан 6, обратный клапан 7. Для управления движением пресса служит распределительный клапан 9 с впускным 11, сливным 12 и обратным клапаном 10. Система имеет четыре уровня действий. В положении «Стоп» открыты клапаны 11 и 12, закрыт клапан 10. Насос через автомат разгрузки 5 подает жидкость в распределитель 9 и она вновь поступает на линию всасывания насоса. Закрытый клапан 10 удерживает подвижную поперечину на весу. В положении «Холостой ход» открыты клапаны 10, 11, 12. Автоматически поднимается наполнительный клапан и жидкость из наполнительного бака идет в рабочий цилиндр. Из возвратных цилиндров через клапан 10 жидкость вытесняется в наполнительный бак. В положении «Рабочий ход» открыты клапаны 10 и 11. Жидкость от насоса передается через

клапан 10 в верхнюю часть клапана 2 в рабочий цилиндр. Жидкость из возвратных цилиндров через клапаны 10 и 11 перемещается в рабочий цилиндр. Когда давление в рабочей линии возрастает, включается автомат разгрузки, циркуляционный клапан поднимается и насос работает вхолостую. В положении «Обратный ход» открыт клапан 12 и под давлением насоса поднят клапан 10, заполняющий возвратный цилиндр. Жидкость из рабочего цилиндра через клапан 12 сбрасывается в наполнительный бак. При падении давления в рабочем цилиндре автоматически включается сервопривод, который поднимает наполнительный клапан, ускоряя вытеснение жидкости из рабочего цилиндра.

Насосно-аккумуляторный привод пресса 1 (рисунок 114) состоит из наполнительного клапана 2 с сервоприводом 3, распределителя 11 с управляемыми клапанами 4, 5, 6, 8, 9, 10 и обратным клапаном 7, наполнительного бака 12 и перепускными клапанами 22, промежуточного мультипликатора 13, беспоршневого аккумулятора 15 с компрессором 16 и клапаном уровня 14. насоса 15 с баком 17 и предохранительным клапаном 19 и разгрузочным 20.

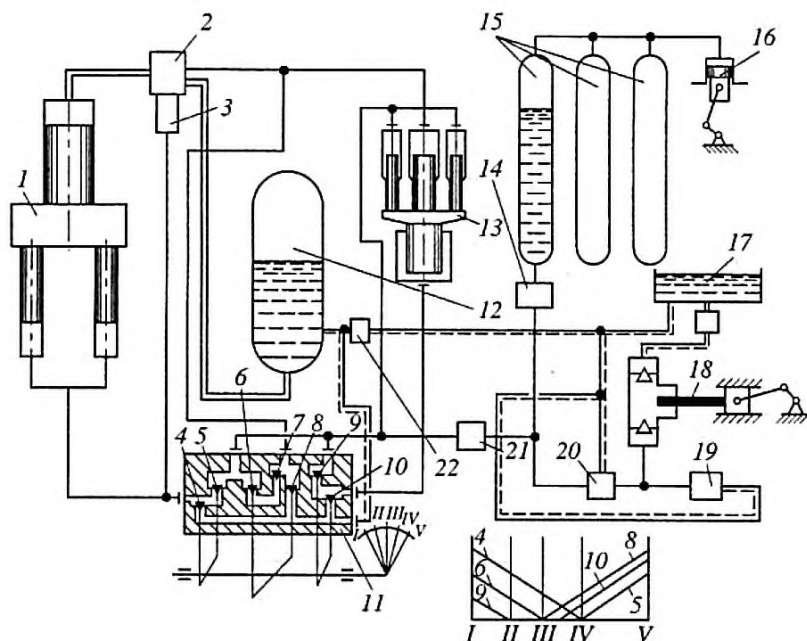


Рисунок 114 – Насосно-аккумуляторный привод [9]

Особенностями привода является применение промежуточного мультипликатора, который за счет уменьшения выходного сечения по сравнению с входным повышает давление жидкости, подаваемой к прессу. Аккумуляторный привод беспоршневого типа служит для накапливания напорной жидкости при паузах в работе пресса с последующей передачей давления в период прессования. Для слежения за уровнем жидкости в гидравлическом баллоне аккумулятора предусмотрен клапан минимального уровня. Как и ранее рассмотренная система привод обладает позициями «Стоп», «Холостой ход», «Рабочее прессование», «Обратный ход» и «Пауза». Работа привода парогидравлического типа показана на рисунке 115.

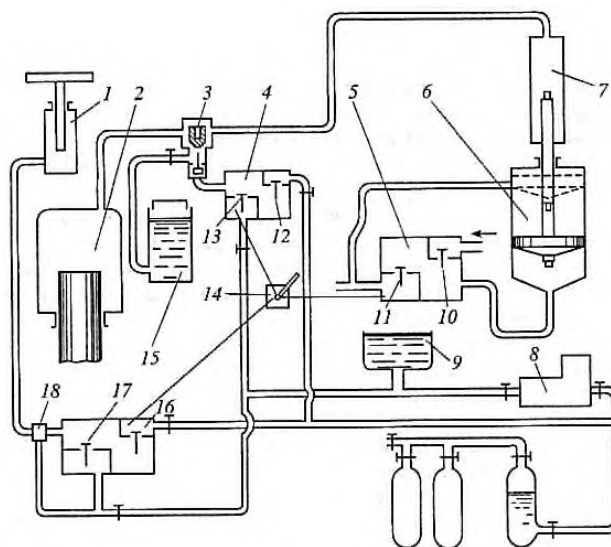


Рисунок 115 – Схема привода парогидравлического пресса [9]

При нахождении поршня парового цилиндра 6 мультипликатора в нижнем положении гидравлический цилиндр 7 заполнен водой низкого давления. При подаче пара в цилиндр и последующем движении поршня мультипликатора вверх вода устремляется из гидравлического цилиндра 7 в рабочий цилиндр пресса 2, минуя наполнительный клапан 3. В связи с постоянством объема воды в системе «рабочий цилиндр пресса – гидравлический цилиндр мультипликатора» наполнительный клапан закрыт и от рабочего цилиндра отсоединен резервуар 15 низкого давления. Для обратного хода пресса под поршень наполнительного клапана и в ретурные цилиндры 1 от аккумулятора подается вода высокого давления. Клапан 3 открывается, и вода из рабочего цилиндра перетекает в наполнительный резервуар 15. Для совершения хода необходима подача воды низкого давления в систему «рабочий цилиндр – гидравлический цилиндр мультипликатора». Клапан 3 будет открыт сервоприводом с помощью клапана 12 коробки 4. При закрытом клапане 12 и открытом клапане 13 наполнительный клапан 3 работает как впускной, пропуская воду в систему из резервуара 15. При этом количество воды, подаваемой мультипликатором за один ход недостаточно для проведения прессования. Поэтому за один ход мультипликатора происходит небольшой единичный ход пресса. Для полного прессования необходимы несколько единичных ходов. При положении «Стоп», когда траверса удерживается в заданном положении, клапаны 16 и 17 закрыты при открытом в коробке 4 клапане 12. Под поршнем наполнительного клапана находится вода под высоким давлением. В этом случае клапан 3 открыт, паровой цилиндр 6 мультипликатора соединяется с выхлопным трубопроводом, в коробке 5 клапан 10 открыт, а клапан 11 закрыт. Наконец, при закрытых клапанах 16 и 17 вода в ретурном цилиндре заперта.

При положении «Холостого хода» ретурный цилиндр соединяется с сетью низкого давления 9, когда клапан 17 открыт и клапан 16 закрыт. Паровой

цилиндр мультипликатора продолжает соединяться с выхлопным трубопроводом. При этом полость под поршнем наполнительного клапана может соединяться с сетью высокого давления, когда клапан 3 открыт, или с сетью низкого давления, когда под действием веса траверсы поршень начнет опускаться и вода из ретурных цилиндров будет вытесняться. Когда верхний боек подойдет к поковке, давления в рабочем цилиндре 2 и резервуаре 15 выравниваются и наполнительный клапан 3 закроется. При рабочем ходе ретурные цилиндры также соединены с низким давлением. В паровой цилиндр мультипликатора поступает свежий пар, и вода из гидравлического цилиндра поступает в рабочий цилиндр, когда пресс совершает единичный ход. При обратном ходе рабочий цилиндр соединяется с резервуаром 15, паровой цилиндр 6 мультипликатора соединяется с выхлопным трубопроводом, а ретурные цилиндры соединяются с сетью высокого давления, что обеспечивает подъем траверсы. Следует отметить, что ручное управление прессом достигается рукояткой 14, а настройки расходов в системах шайбами 18. В настоящее время данные прессы из-за низкого КПД не выпускаются.

Управление гидропресса с механическим мультипликатором показано на рисунке 116.

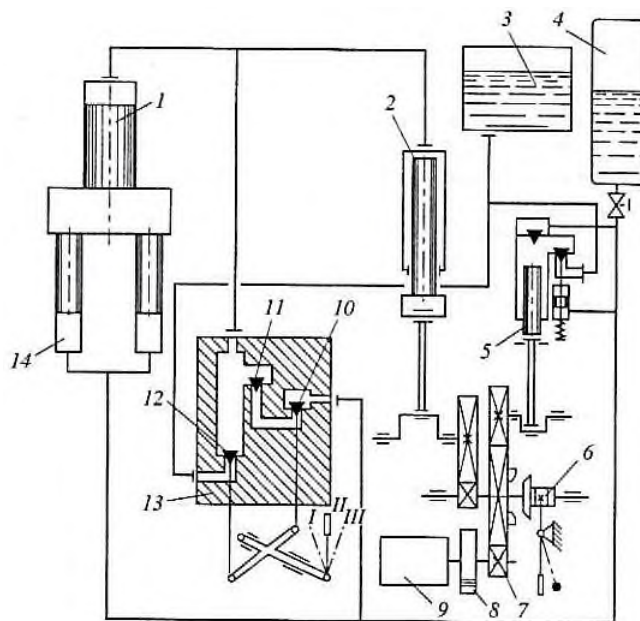


Рисунок 116 – Пресс с кривошипным мультипликатором [9]

Мультипликатор 2 создает давление  $45 \div 50$  МПа и поэтому с кривошипным мультипликатором прессы выпускаются усилиями до 15 МН. При рабочем движении в рабочий цилиндр 1 подается вода через клапан 10 из аккумулятора 4. Возвратные цилиндры 14 постоянно соединены с аккумулятором. Их сопротивление преодолевается усилием рабочего плунжера. Движение бойка вверх производится сливом воды из рабочего цилиндра в насосный бак 3 через открытый клапан 12 распределителя 13. При положении «Стоп» обратный клапан

11 не допускает перепуска воды высокого давления из рабочего цилиндра в аккумулятор 4. Насос 5 заряжает аккумулятор автоматически. Мультипликатор приводится в движение электродвигателем 9 с маховиком 8 через зубчатые передачи 7. Включением муфты 6 достигается получение единичных ходов у пресса.



### 34 Расчеты гидравлических прессов

Ресурс  $T$  в часах работы любой нагруженной рабочей детали пресса определяется зависимостью:

$$T = [10^{(\sigma_{-1})/k} (1 - \frac{1}{n_n}) \cdot N_o] / n_{\text{общ}},$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел усталости материала детали при базовом числе нагружений  $N_o$ ;

$k$  – угловой коэффициент усталостной кривой  $\sigma(\sigma, N)$  (отношение  $\sigma_{-1}/k = 0,486\sigma_T / (1,5 + 0,07\sigma_T)$ );

$\sigma_T$  – предел текучести;

$n_n$  – запас прочности детали, связанной с безопасностью работы детали для людей и агрегата (для особо опасных работ  $n_n \geq 10$ , для среднеопасных  $n_n \geq 3,5$ , для малоопасных  $n_n \geq 1,1 \dots 1,5$ );

$n_{\text{общ}}$  – число нагружений детали в час.

Ниже для наиболее применяемых марок сталей, используемых для изготовления деталей прессов приведены значения  $N_o$  и  $\sigma_{-1}/k$ .

|                  |                |                   |                |                |                |                |
|------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Сталь            | Ст45           | 27Х2Н2МВФ         | 3ХВ4СФ         | 4Х5В2ФС        | 5ХНВ           | 3Х2В8          |
| $\sigma_{-1}/k$  | 0,53           | 0,53              | 0,54           | 0,54           | 0,535          | 0,53           |
| $N_o$            | $1 \cdot 10^5$ | $0,95 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^5$ |
| $\sigma_T$ , МПа | 600            | 950               | 1250           | 1250           | 980            | 980            |

Основой расчета всех энергосиловых параметров является величина усилия прессования, зависящая от усилий деформирования, связанных с формообразованием и преодолением сил трения на контактных и калибрующих поверхностях инструмента (в контейнере, в инструменте и на внутреннее трение слоев при формообразовании). По исследованиям Л.С. Кохана давление прессования некруглых профилей, у которых отношение полудлины к полуширине  $a/b \leq 10$ , составляет

$$p_B / \sigma_T = 1,33 \ln \lambda + 3,91 + 2,3H/D + 0,58 (1/a)(1 + a/b).$$

При прессовании некруглых изделий, у которых отношение  $a/b \leq 5$ , давление прессования

$$p_B / \sigma_T = 1,6 \ln \lambda + 3,91 + 2,3H/D + 0,58 (1/a)(1 + a/b).$$

При прессовании изделий (панелей), у которых отношение  $a/b > 50$ , давление составляет

$$p_b/\sigma_T = 1,33 \ln \lambda + (9,6 \dots 9,7).$$

В приведенных формулах  $l$ ,  $H$ ,  $D$  – соответственно длина калибрующего пояска, высота и диаметр заготовки.

На рисунке 117 приведены значения относительного давления прессования в зависимости от величины вытяжки для различных форм изделий (без учета потерь давления на трение в калибрующем пояске и в контейнере). Видно, что с ростом сложности профиля ( $a/b$ ) давление резко возрастает.

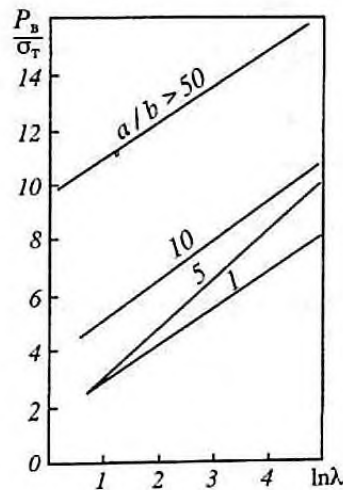


Рисунок 117 – Относительное давление прессования изделий различных форм [9]

По величине давления на конечной стадии деформации ( $\lambda = \lambda_{\max}$ ) определяется усилие прессования  $P_{\text{пр}} = S_{\text{п}} p_b$ , где  $S_{\text{п}}$  – площадь пуансона.

При установившейся величине усилия прессования работа пластической деформации  $A_{\text{пл}} = P_{\text{пр}} h_{\text{пр}}$ , где  $h_{\text{пр}}$  – длина хода прессования.

Эффективным КПД пресса за рабочий ход  $\eta_э$  называют отношение полезной работы пластической деформации к работе совершенной прессом и состоящей из работы перемещения подвижных частей (траверс, поперечин)  $A_{\text{п}}$  и рабочей жидкости в цилиндрах  $A_{\text{цил}}$ :  $\eta_э = A_{\text{пл}} / (A_{\text{п}} + A_{\text{цил}})$ .

### 35 Конструкции станов однократного волочения

Волоочильные однократные станы барабанного типа применяют в основном для волочения из черных и цветных металлов проволоки диаметром 0,2...40 мм, профилей и труб. В качестве технологической смазки используют жидкие, пластичные или твердые смазочные материалы. Волоочильный барабан в стане может быть расположен как вертикально, так и горизонтально.

На рисунке 118, а представлена схема стана однократного волочения с горизонтальным тяговым барабаном. После заправки проволоки с фигурки 1 через волоку 2 ее выступающий конец зажимается клещами, закрепленными к приемному барабану 3. Под действием усилия волочения каждый последующий виток сдвигает вниз по конусу предыдущий виток, образуя плотную упаковку витков на приемном барабане.

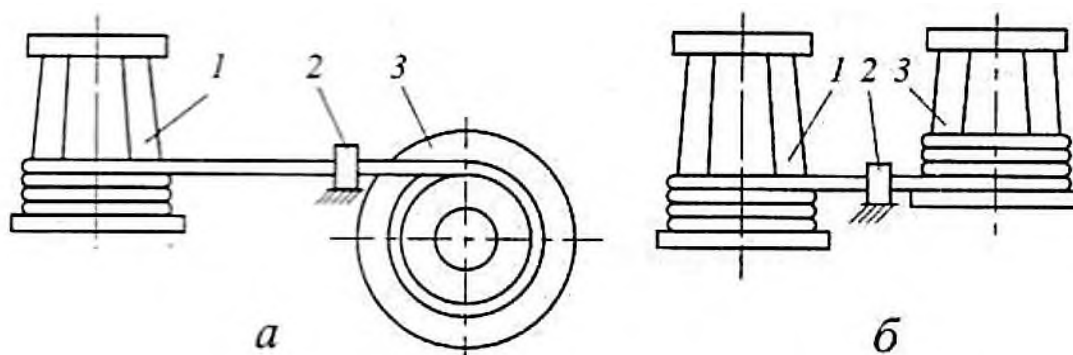
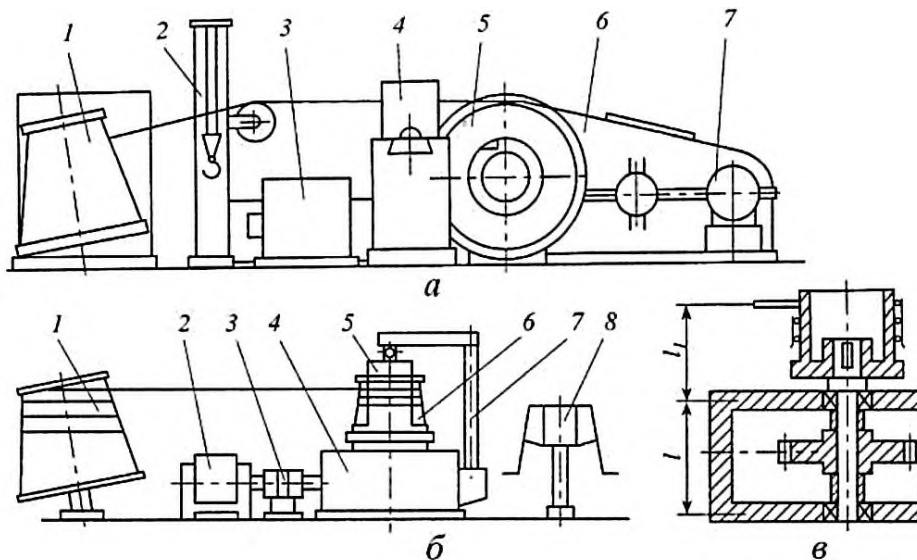


Рисунок 118 – Станы однократного волочения с горизонтальным (а) и вертикальным (б) барабанами [9]

Стан однократного волочения с вертикальным приемным барабаном 3 (рисунок 118, б) позволяет стабилизировать положение линии волочения в результате скольжения вдоль барабана клещей или перемещения проволоки вдоль оси барабана.

На рисунке 119, а представлен широко распространенный в металлургии стан для однократного волочения проволоки. В комплект стана входит фигурка 1 для размотки проволоки при волочении. С помощью острильного станка 3 заостренный конец проволоки заправляется через волоку 4 укладчика на приемный барабан 5 волоочильного стана, представляющего собой однобарабанный блок с горизонтальным барабаном. Вращение барабану передается от электродвигателя 7 через трех-, четырехкратный редуктор 6. Применяется электродвигатель с фазовым ротором типа АК-91-6, АК-92-4, установленный на своей раме и соединяемый упругой муфтой с редуктором. Шкив упругой муфты одновременно является тормозным шкивом. С корпусом редуктора жестко соединена станина укладчика с направляющими, по которым перемещается каретка, несущая проволоку.



а - общий вид; б - стан с вертикальным барабаном; в - к расчету прочности барабана

Рисунок 119 – Стан однократного волочения [14]

Кинематика привода каретки устроена таким образом, что его винт смещает каретку на один шаг при одном обороте барабана. Реверс каретки автоматически осуществляется электромагнитными муфтами при конечных положениях ходового винта укладчика. При накоплении проволоки на приемном барабане гидравлический съемник-сталкиватель, перемещающийся по поверхности барабана, выталкивает готовый моток. Предварительно с помощью гидрожниц отделяется готовый бунт на бунтодержателе, на который перемещается проволока. Дополнительно в комплект установки входят поворотный кран 2 для загрузки фигурки бунтами и складирования готовой продукции, а также машины для увязки и упаковки бунтов, шкафы и пульта управления. Для технологической смазки волоки используют насосную установку. В стане предусмотрены системы жидкой и густой смазки деталей редуктора, подшипников барабана крана и обслуживающих устройств. Современные проволочные прокатные станы могут поставлять бунты проволоки массой до 2,0 т. Поэтому для укрупнения обрабатываемого материала предусмотрены сварочные машины и специальные перемоточные устройства.

Волочильный стан БГ-1/1000 предназначен для холодного волочения проволоки из круглой заготовки диаметром 16...32 мм ( $\sigma_{\text{в}} = 400...800$  МПа) с последующим накоплением готовой продукции в бунты массой до 2000 кг и представляет собой однобарабанный блок с горизонтально расположенным барабаном. Приводом барабана является электродвигатель постоянного тока мощностью 160 кВт и коническо-цилиндрический трехступенчатый редуктор, что обеспечивает плавное регулирование скорости волочения в диапазоне 0,5...2,0 м/с. Стан оборудован прижимными роликами, удерживающими прово-

локу от распушивания во время волочения по мере наполнения барабана и при обрыве.

В зависимости от технологии волочения в качестве технологической смазки используют масляную эмульсию (если на стане установлен гидропроталкиватель) или сухой мыльный порошок (если на стане установлена мыльница). При работе с мыльницей волока охлаждается проточной водой.

В таблице 9 приведены технические характеристики станом, выпускаемых фирмой «Кох» (Германия).

Таблица 9 – Технические характеристики горизонтальных однократных станом КНЗ [14]

| Параметр   | Типоразмер стана (сила волочения, кН) |     |     |     |      |      |      |
|--|---------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
|  | 50                                    | 80  | 100 | 150 | 200  | 250  | 320  |
| Максимальный диаметр заготовки, мм, при временном сопротивлении ее материала, МПа: |                                       |     |     |     |      |      |      |
| 450  | 16                                    | 19  | 22  | 27  | 32   | 36   | 40   |
| 600  | 15                                    | 18  | 20  | 25  | 28   | 32   | 36   |
| 800  | 13                                    | 16  | 18  | 22  | 25   | 28   | 32   |
| Максимальное обжатие за переход, %   | 25                                    | 22  | 20  | 18  | 18   | 16   | 16   |
| Диаметр барабана, мм   | 750                                   | 750 | 900 | 900 | 900  | 900  | 1000 |
| Мощность привода, кВт  | 75                                    | 90  | 110 | 110 | 135  | 135  | 135  |
| Скорость волочения, м/с  | 1,2                                   | 1,0 | 0,9 | 0,6 | 0,55 | 0,43 | 0,34 |

Однократный волочильный стан с вертикально расположенным барабаном 5 диаметром 750 мм показан на рисунке 119, б. Стан включает фигурку 1, собственно клеть 4 с редуктором, коробкой скоростей и приемным барабаном 5, с грейфером 6 для съема проволоченной проволоки с помощью подъемника 7 и его последующей установки на стеллаж 8. Привод стана 2 позволяет ступенчато изменять скорость в пределах 30...120 м/мин; он состоит из электродвигателя и тормозного устройства 3.

Наиболее ответственными узлами волочильных станом являются вал-шпиндель приемного барабана, зубчатые передачи и подшипниковые опоры. Ниже приведен расчет расположенного консольно шпинделя вертикального барабана (рисунок 119, в).

Данный шпиндель воспринимает нагрузки от усилия волочения  $P_B$  и усилия  $P_{изг}$  вследствие пластического изгиба проволоки при намотке ее на приемный барабан.

Максимальные напряжения при изгибе и кручении вала в сечении соответственно равны:

$$\sigma_{max} = (P_B + P_{изг})l_1 \cdot K_d / 0,1d_A^3,$$

$$\tau_{\max} = (P_{\text{в}} + P_{\text{изг}})D_{\text{б}} \cdot K_{\text{д}} / 0,4d_{\text{А}}^3,$$

где  $l_1$  – расстояние от прутка до опасного сечения;  
 $D_{\text{б}}$  – диаметр барабана;  
 $d_{\text{А}}$  – диаметр вала в опасном сечении;  
 $K_{\text{д}}$  – коэффициент динамичности ( $K_{\text{д}} = 1,3 \dots 1,5$ ).

Они определяют эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau_{\max}^2} < [\sigma],$$

где  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение.

Усилие волочения определяется по уточненной формуле И.Л. Перлина:

$$P_{\text{в}} = F_{\text{к}} \frac{1 + f \text{ctg} \alpha}{\text{ctg} \alpha} \sigma_{\text{то}} \mu^n \left[ \left( 1 - \frac{1}{\mu^{\text{ctg} \alpha + n}} \right) + \frac{4fl_{\text{к}}}{d_{\text{к}}} \right],$$

где  $\sigma_{\text{то}}$  – начальное сопротивление пластической деформации;  
 $\mu$  – вытяжка;  
 $f$  – коэффициент трения;  
 $F_{\text{к}}$  – площадь сечения проволоки;  
 $d_{\text{к}}$  – диаметр калибрующего пояска;  
 $n$  – показатель упрочнения ( $n=0,5 \dots 0,7$ );  
 $\alpha$  – угол волоки;  
 $l_{\text{к}}$  – длина калибрующего пояска.

Усилие изгиба проволоки круглого сечения на приемном барабане  $P_{\text{изг}}$  определяется пластическим изгибом проволоки сечением  $F_{\text{к}}$  (или диаметром  $d_1$ ):

$$P_{\text{изг}} = 0,34 \sigma_{\text{т1}} d_1^3 / D_{\text{б}}$$

где  $\sigma_{\text{т1}}$  – сопротивление материала пластической деформации после волочения.

Волочильный стан СВ-1/550 предназначен для однократного волочения без скольжения стальной проволоки из катанки и представляет собой однобарабанный блок с вертикально расположенным барабаном. Барабан приводится во вращение электродвигателем с фазовым ротором через коробку скоростей и коническую передачу, которые расположены в общей станине. Между электродвигателем и станиной установлено тормозное устройство.

Захват остренного конца проволоки выполняется съемными заправочными клещами. Протянутая проволока скапливается на барабане в виде бухты. После остановки стана бухта снимается с барабана грейфером и передается на

упаковку. В зависимости от сечения и качества протягиваемого материала однократные волочильные станы изготавливают с силой волочения 3,0...300 кН при скорости волочения 0,3...5,0 м/с.

Диаметр волочильного барабана зависит от условий образования бухты проволоки после волочения. Суммарные напряжения в проволоке от силы волочения и изгиба на барабане не должны превышать временного сопротивления материала, чтобы не вызывать обрывов. Однако напряжения должны превышать предел упругости, чтобы при намотке на барабан происходила пластическая деформация проволоки, обеспечивающая сохранение бухты при окончании волочения или остановке стана. Формирование бухты происходит на рабочем участке барабана (рисунок 120), протяженность которого зависит от диаметра барабана и составляет 30...150 мм.

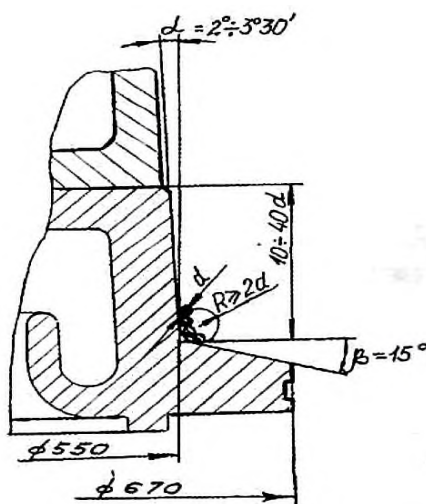


Рисунок 120 – Профиль волочильного барабана [14]

Нормальный ряд диаметров барабанов однократных волочильных станов приведен в таблице 10.

Таблица 10 - Нормальный ряд диаметров барабанов и основные параметры стана однократного волочения [1]

| Барабана | Диаметр, мм       |           | Временное сопротивление материала, МПа | Скорость волочения, м/с |
|----------|-------------------|-----------|--|-------------------------|
|          | готовой проволоки | заготовки |  |                         |
| 1000     | 38                | 40        | 400                                    | 0,5...2,0               |
| 1000     | 25                | 27        | 1500                                   |                         |
| 750      | 20                | 22        | 800                                    |                         |
| 650      | 8                 | 12        | 1100                                   | 1,1...3,5               |
| 550      | 6                 | 8         | 1100                                   | 1,5,,,5,00              |
| 450      | 4                 | 6         | 1200                                   | 1,5...4,5               |
| 350      | 1,6               | 3         | 1400                                   |                         |
| 250      | 0,8               | 2         | 1600                                   |                         |
| 200      | 0,4               | 1,2       | 2000                                   |                         |
|          | Наименьший<br>0,2 |           |  |                         |

Скорость волочения зависит от свойств материала проволоки, качества подготовки ее поверхности, конструкции стана, качества технологической смазки и других факторов. Современные однократные волочильные станы оборудованы системами водяного охлаждения барабана и волокодержателя.

Привод стана осуществляется от электродвигателя постоянного или переменного тока, который обеспечивает:

- запуск стана на ползучей скорости и плавный переход на рабочую скорость, что позволяет избежать динамических нагрузок на проволоку, приводящих к ее обрыву и работу толчками при заправке стана;

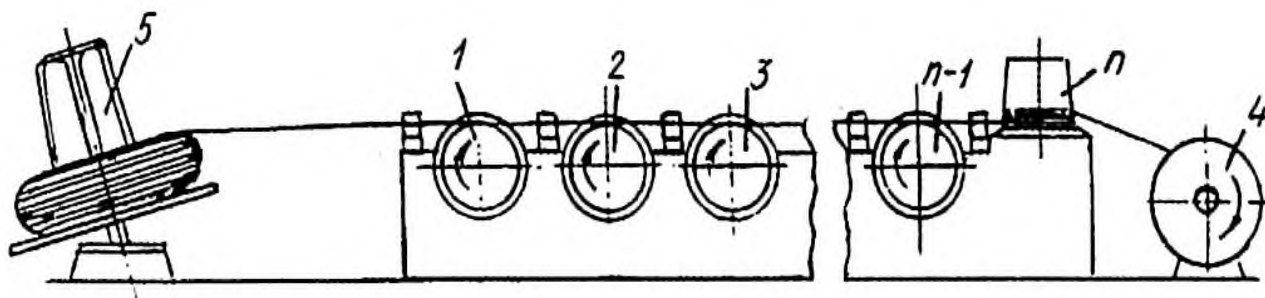
- аварийную остановку стана во избежание несчастных случаев;

- плавный, но быстрый разгон стана с заправочной скорости на рабочую, а также регулировку скорости волочения в зависимости от протягиваемого материала в целях максимального использования производительности стана.



### 36 Конструкции многократных волочильных станов со скольжением проволоки на промежуточных барабанах

Многократные волочильные станы - это машины, на которых обрабатываемая полоса для увеличения вытяжки одновременно протягивается через несколько валок, расположенных последовательно перед тянущими устройствами. Полоса, выходя из волоки, наматывается на тянущий барабан и одновременно сматывается с него, поступая в последующую волоку (рисунок 121).



1, 2, 3, ..., n-1, n - тянущие барабаны; 4, 5 - устройства соответственно прямое (катушка) и разматывающее (неприводная фигурка)

Рисунок 121 – Схема стана многократного волочения со скольжением [14]

Кратность волочения зависит от протягиваемого материала, конечных размеров изделия и требований к нему. На практике применяют 2...30-кратное и более волочение.

Многократное волочение может быть со скольжением полосы по поверхности тянущего барабана и без него, поэтому многократные волочильные станы подразделяют на многократные волочильные станы со скольжением проволоки на промежуточных барабанах и многократные волочильные станы без скольжения проволоки на промежуточных барабанах. Каждая из подгрупп имеет свои положительные и отрицательные особенности конструкции, оказывающие большое влияние на технологию волочения и определяющие свои области применения.

Для нормальной работы многократного волочильного стана необходимо, чтобы через каждую его волоку в единицу времени проходили равные объемы обрабатываемого металла, то есть

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 = \dots = F_n v_n = \text{const},$$

где  $F_n$  – площадь сечения проволоки, выходящей из волоки со скоростью  $v_n$ .

Несоблюдение этого равенства приведет либо к обрыву проволоки, либо к ее накапливанию и запутыванию. Отсюда следует, что

$$v_1 < v_2 < v_3 < \dots < v_n.$$

У стана ступенчатого типа (рисунок 122) скорость волочения на каждом последующем переходе увеличивается в результате увеличения диаметров тянущих шайб.

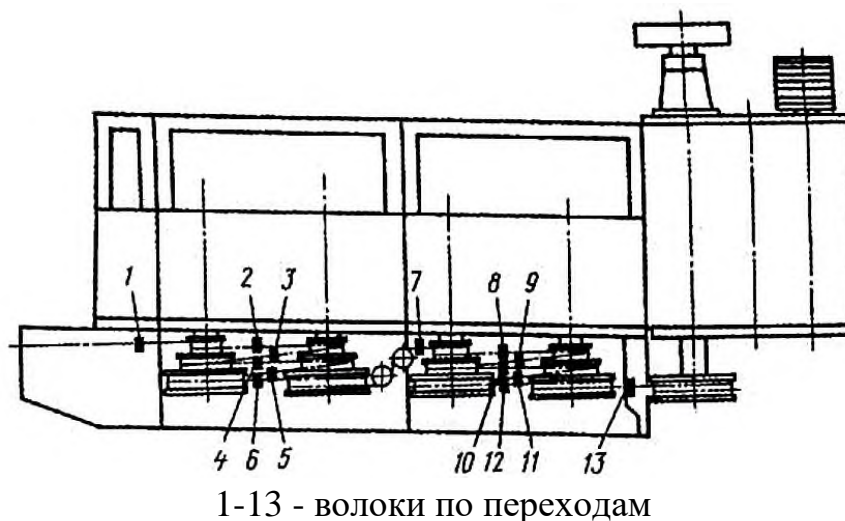


Рисунок 122 – Схема волочильного стана ступенчатого типа [14]

Увеличение скорости наматывания проволоки на каждый из последующих барабанов (рисунок 122) обеспечивается соответствующим подбором передаточного числа шестерен группового привода. Обычно такие машины конструируют с отношением скоростей соседних промежуточных шайб в пределах 1,15...1,35. Отношение скоростей двух последних шайб уменьшают до 1,05...1,15, чтобы обеспечить на чистовых переходах возможность применения малых (калибровочных) вытяжек.

При заправке на барабаны наматывают по несколько витков. Во время работы стана при каждом обороте барабана на него один виток проволоки наматывается и одновременно один виток сматывается, что обеспечивает постоянное число витков на барабане. Готовая проволока поступает либо на барабан п, либо на катушку 4.

Назначение каждого промежуточного барабана – создать необходимую тяговую силу, или силу волочения  $P$ , что возможно только при условии приложения к сбегающей проволоке заднего натяжения  $Q$ , обеспечивающего возникновение силы контактного трения между проволокой и барабаном.

Контактное трение обеспечивается только в том случае, когда окружная скорость тянущего барабана выше скорости проволоки, то есть когда барабан будет проскальзывать внутри витков проволоки.

Натяжение  $Q$  определяют из уравнения для сил, действующих в набегающем и сбегающем участках гибкого тела при трении его о цилиндрическую поверхность:

$$Q = P/e^{2\pi m f'}$$

где  $P$  – сила волочения на переходе;

$$e = 2,718;$$

$m$  – число витков проволоки на барабане;

$f'$  – коэффициент трения между проволокой и барабаном ( $f' = 0,1 \dots 0,18$ ).

На практике обычно число  $m$  витков равно 3...4 при грубом волочении; 2..3 при среднем волочении; 1..2 при тонком и тончайшем волочении.

Момент привода промежуточного барабана:

$$M_{\Pi} = (P_{n-1} - Q_{n-1}) \frac{d}{2} = \left( P_{n-1} - \frac{P_{n-1}}{e^{2\pi m f'}} \right) \frac{d}{2} = P_{n-1} \left( 1 - \frac{1}{e^{2\pi m f'}} \right) \frac{d}{2},$$

где  $d$  – диаметр барабана.

Многokратные волочильные станы со скольжением изготавливают как с вертикальным, так и с горизонтальным осями барабана. Их применяют для волочения проволоки из цветных металлов и стали. Скорости волочения зависят от диаметра и материала проволоки (таблица 11).

Таблица 11 – Скорости волочения проволоки [14]

| Тип проводки | Диаметр, мм | Скорость волочения, м/с при материале проволоки |         |
|--------------|-------------|---|---------|
|              |             | Сталь   | Медь    |
| Толстая      | 6...16      | 2,5...10  | 5...18  |
| Средняя      | 1,6...6     |   |         |
| Тонкая       | 0,3...1,6   | 5...25  | 30...80 |
| Тончайшая    | До 0,3      |   |         |

При высоких скоростях волочения возникает необходимость интенсивного охлаждения проволоки, барабанов и валок, так как высокие температуры ухудшают качество проволоки, ухудшают износ валок и барабанов, повышают обрывность проволоки. Поэтому на станах со скольжением в качестве технологической смазки применяют водные эмульсии или жидкие минеральные масла с активными добавками, обладающие хорошей теплоемкостью, благодаря чему станы этого типа называют также *станами мокрого волочения*. Волочение проволоки диаметром 1,0...0,05 мм и менее целесообразно проводить на станах ступенчатого типа (рисунок 122).

На четырех шпинделях собрано по три тянущих барабана (шайбы), перед которыми установлены волоки 1...12. Чистовая волока 13 расположена перед чистовым барабаном. Конструкция проста и компактна, но требует тщательного подбора диаметров тянущих шайб и размеров волок. Машины этого типа получили наибольшее распространение.

Волоочильные станы с планетарными передачами, расположенными в текущих шайбах (рисунок 123) принимают, главным образом, на кабельных заводах для волочения проволоки из цветных металлов.



Рисунок 123 – Тянущая шайба «Niehoff M 315» [14]

Компактность конструкции при одинаковом диаметре всех тянущих шайб, достигается размещением всех планетарных зубчатых передач внутри шайб. Двухшпindelная конструкция обеспечивает двадцать один переход волочения, четырехшпindelная – до тридцати трех переходов.

Передаточные числа  $i$  между соседними шайбами на одном шпинделе равны  $\lambda^2$ , где  $\lambda$  – вытяжка на каждом переходе волочения. Число зубьев шестерен планетарной передачи определяются уравнениями:

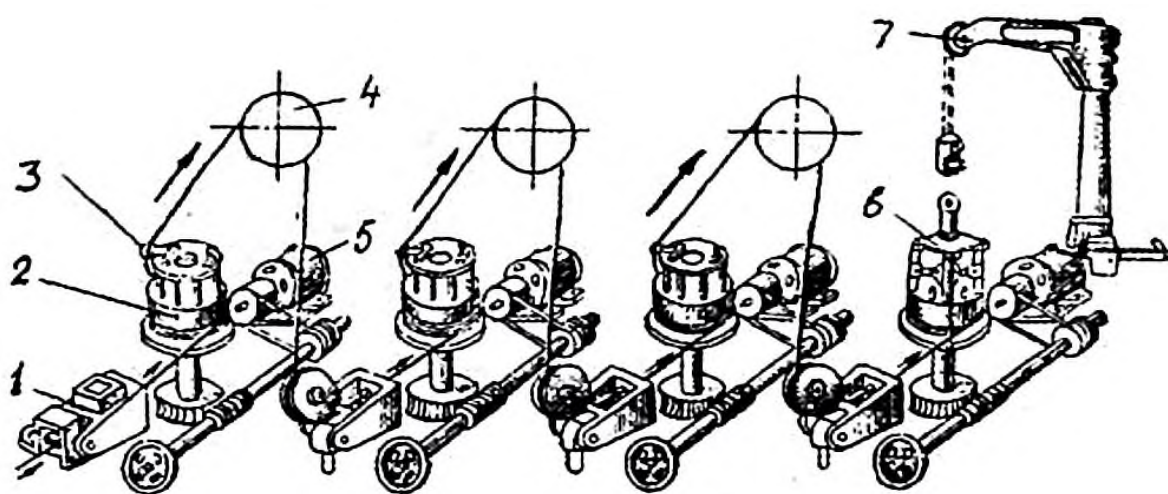
$$z_1 = z_2 (i - 1),$$

$$z_0 = z_2 \left(1 - \frac{i}{2}\right).$$

### 37 Конструкции многократных волочильных станов без скольжения проволоки на промежуточных барабанах

Недостаток станов со скольжением – быстрый износ тянущих барабанов (шайб) при волочении проволоки из высокопрочных металлов и образование дефектов поверхности на проволоке из низкопрочных пластичных металлов. Этот недостаток можно устранить, доведя скорость проволоки и барабана до практически полного совпадения.

На рисунке 124 схематично показано устройство волочильного стана магазинного типа. Для исключения возможности проскальзывания тянущих барабанов на каждом из них намотано не менее десяти – двенадцати витков проволоки.



1 - волокодержатель; 2 - барабан; 3 - бегунок; 4 - обводной ролик;  
5 - привод барабана; 6 - чистовой барабан; 7 - рейфер

Рисунок 124 – Схема волочильного стана магазинного типа [14]

Стан состоит из четырех барабанов, перед каждым из которых закреплен волокодержатель. С барабана на последующий барабан проволока передается через ролик проводного устройства, установленного на всех барабанах, кроме чистового, оборудованного съемным устройством. Проводковые устройства имеют приспособления для притормаживания проволоки во избежание ее произвольного разматывания от действия центробежных сил. Это устройство обеспечивает независимость намотки проволоки от ее смотки с барабана.

При равенстве скоростей намотки и смотки проволоки с барабана число витков на нем остается постоянным и проволока не закручивается вокруг своей оси. Превышение скорости смотки над скоростью намотки вызывает закручивание проволоки вокруг своей оси тем больше, чем больше разница скоростей. Отставание скорости смотки приводит к накапливанию проволоки на барабане и ее закручивание в противоположном направлении.

На практике скорость намотки не должна превышать скорость смотки бо-

лее чем на 10%, что при работе стана обеспечивает медленное накопление проволоки на барабанах. При накоплении максимально допустимого количества проволоки на барабане его выключают и сматывают излишки проволоки на последующий барабан, после чего опять включают.

Возможность накапливания проволоки на каждом из барабанов является основанием называть такие барабаны магазинными.

Недостатки таких станов:

- перекручивание проволоки, что делает невозможным их применение для волочения фасонной проволоки;
- сложный путь перехода проволоки от волокна к волоке, приводящий к ограничению скорости волочения до 10 м/с и затрудняющий применение стана для волочения тонкой проволоки.

Вместе с тем, кроме отсутствия скольжения, станы с накоплением обеспечивают:

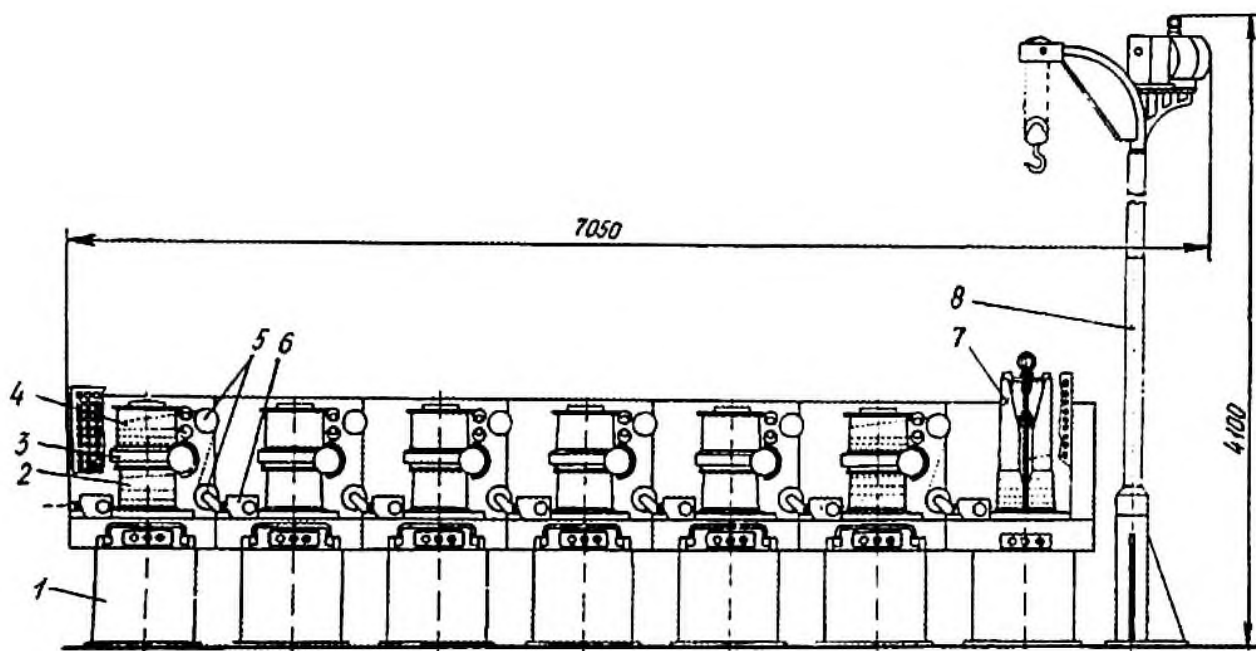
- хорошее охлаждение проволоки, особенно при работе на сухой технологической смазке;
- практическое отсутствие заднего натяжения и возможность вести многократное волочение с минимальной дробностью деформации.

Для устранения скручивания проволоки при волочении на станах с накоплением были разработаны конструкции барабанов, свободные от этого недостатка.

Стан со сдвоенным барабаном (рисунок 125) собирается из отдельных блоков с индивидуальным приводом барабанов. Число блоков определяет кратность стана. Особенность конструкции – установка на каждом шпинделе двух барабанов – один над другим. Нижний барабан 2 (рисунок 126) установлен на шпонке 5, верхний 4 – на подшипниках качения 6, что обеспечивает свободное вращение барабана относительно шпинделя. Верхний и нижний барабаны разделены фрикционным кольцом 3 с направляющим роликом 7. Под действием сил трения о шпиндель фрикционное кольцо стремится вращаться одновременно с нижним барабаном, переводя ролик проволоку с нижнего барабана на верхний. Направления намотки проволоки на нижний и верхний барабаны противоположны. Схема намотки проволоки, вращение барабанов навстречу друг другу, различные скорости вращения фрикционного кольца с роликом позволяют считать конструкцию дифференциальным механизмом.

Проволока поступает к нижнему барабану через волоку 1. После накопления необходимого запаса проволоки на нижнем и верхнем барабанах проволока с верхнего барабана по направляющим роликам 8 передается в волоку 9 следующего перехода волочения. Барабан оборудован путевыми выключателями, автоматически останавливающими или запускающими блок при максимальном и минимальном количествах проволоки на барабане.





1 - блок стана; 2 - нижний барабан; 3 - фрикционное кольцо; 4 - верхний барабан; 5 - направляющие ролики; 6 - волокодержатель; 7 - чистовой барабан; 8 - грейфер

Рисунок 125 - Стан DHGE 71350 со сдвоенными барабанами для волочения проволоки из низкоуглеродистой стали [14]

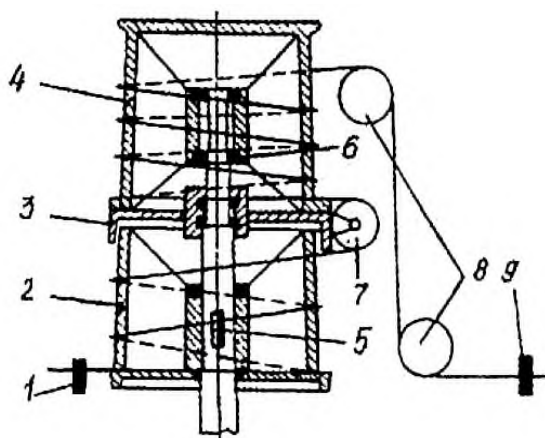


Рисунок 126 - Схема устройства сдвоенного барабана [14]

Недостатки таких станов:

- многократные перегибы проволоки на роликах, затрудняющие заправку стана, особенно при волочении толстой проволоки;
- перегрев и износ фрикционного кольца на чистовых переходах, что ограничивает скорость волочения (15...20 м/с).

Преимущества:

- возможность волочения фасонной проволоки, так как нет ее скручивания;

- удобство обслуживания стана – можно снимать готовую проволоку с чистового барабана или перезаправлять приемную катушку без остановки стана;

- простота конструкции стана, позволяющая использовать для привода электродвигатель переменного тока.

Необходимость в устранении скольжения проволоки по барабанам, увеличении скорости волочения и стойкости волок привели к созданию станов многократного волочения, работающих с противонатяжением. Отличительный признак таких станов – индивидуальный привод каждого из барабанов от электродвигателей с регулируемой скоростью.

Автоматическое регулирование скоростей электродвигателей осуществляется с помощью натяжных роликов, установленными между барабанами. Переходя с барабана на барабан, проволока огибает натяжной и направляющий ролики образуя петлю. При рассогласовании скоростей барабанов петля удлиняется или укорачивается, перемещая натяжной ролик, который механически связан с датчиком (сельсином или реостатом), воздействующим на силу тока в обмотке возбуждения электродвигателя предыдущего блока. Приводом стана этого типа может служить источник постоянного тока с нерегулируемым напряжением, мотор-генераторная установка с регулируемым напряжением или тиристорные выпрямители. При механическом регулировании скорости барабанов используют вариаторы, управляемые натяжными роликами.

Силу натяжения проволоки регулируют поджатием пружины узла автоматического регулирования скорости, на котором расположен натяжной ролик. Конструкция узла выполнена в виде рычажной системы таким образом, чтобы сила натяжения проволоки не менялась более чем на 10% при изменении силы действия пружины и длины петли. Сила натяжения проволоки является противонатяжением для последующего перехода и обычно составляет 10...30% силы волочения.

При работе станов на его барабанах находится всего несколько витков проволоки, поэтому при скорости волочения до 20 м/с время охлаждения недостаточно для отвода теплоты. В целях интенсификации охлаждения проволока обдувается воздухом от вентилятора, а барабаны изнутри омываются водой. Кроме того, на всех переходах предусмотрено водяное охлаждение рабочих волок.

Стан снабжен системой барьерных и конечных выключателей, облегчающих обслуживание стана и его автоматическую остановку при обрыве проволоки или ее запутывании на отдающем устройстве.

Преимущества станов петлевого типа, работающих с противонатяжением:

- при переходе с барабана на барабан проволока не закручивается вокруг своей оси;



- осуществляется автоматическое регулирование скоростей барабанов, создающее противонатяжение проволоки, улучшающее ее качество и обеспечивающее увеличение производительности;

- обеспечивается безопасность обслуживающего персонала при обрывах, так как отсутствует съём проволоки через верхнюю часть барабанов.

Недостатки:

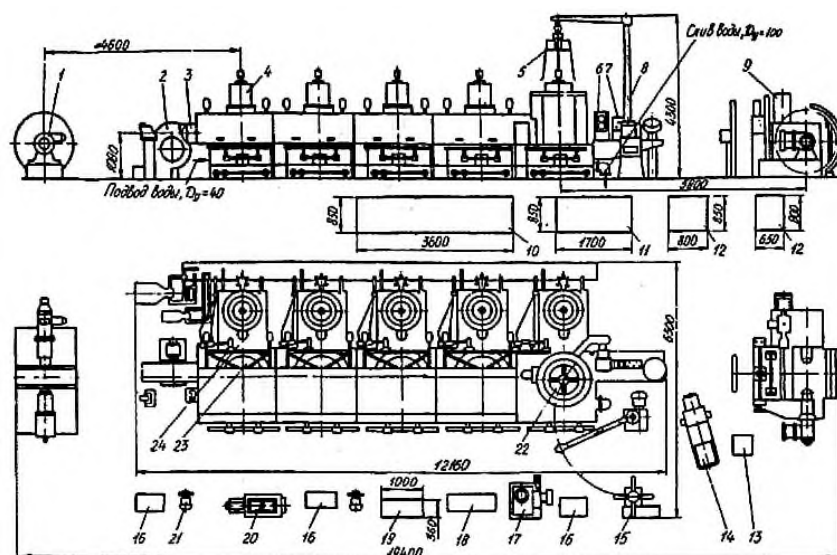
- натяжные и направляющие ролики затрудняют заправку стана (особенно толстой высокопрочной проволоки);

- рычажно-пружинная система не обеспечивает широкого диапазона регулирования противонатяжения;

- натяжные и направляющие ролики создают дополнительные перегибы проволоки.

### 38 Конструкции многократных беспетлевых станов (прямоточных)

В отличие от станов петлевого типа, на прямоточных станках противонапряжение создается с помощью электродвигателей и поэтому регулируется в широких пределах. При волочении проволоки из углеродистой стали противонапряжение создается с помощью электродвигателей, и поэтому регулируется в широких пределах. При волочении проволоки из углеродистой стали противонапряжение обычно не превышает 10...15% силы волочения, в то время как для проволоки из коррозионностойкой стали противонапряжение составляет 30% и более. Устранение из конструкции натяжных и направляющих роликов не только облегчает его заправку, но и делает применение противонапряжения предпочтительным при волочении некоторых видов проволоки, например, порошковой. На рисунке 127 приведен стан ВПТ-5/750, предназначенный для волочения без скольжения с противонапряжением высокоуглеродистой стальной проволоки диаметром 3,6...6,0 мм из заготовки диаметром 8,0...12,0 мм ( $\sigma_B=1000...1400$  МПа).



- 1 - размоточное устройство; 2 - вентилятор; 3 - волокодержатель;  
4 - электродвигатель; 5 - грейфер; 6 - неприводное профилирующее устройство; 7 - рихтовальное устройство; 8 - поворотный кран; 9 - намоточный аппарат; 10-12 - шкафы управления; 13, 18 - пульт управления;  
14 - передвижные гидравлические ножницы; 15 - стеллаж увязки мотков;  
16 - стыкосварочные машины; 17, 20 - острильный нож; 19 - щит приборов;  
21 - точило; 22 - чистовой двухступенчатый барабан; 23 - вертикальный тянущий барабан; 24 - блок

Рисунок 127 - Стан прямоточного волочения ВПТ-5/750 [14]

Барабаны диаметром 750 мм имеют индивидуальный привод – электродвигатель постоянного тока и две пары цилиндрических колес. Якоря электродвигателей блоков соединены в электрической схеме последовательно, что

обеспечивает распределение нагрузки на них пропорционально тянущему моменту на каждом барабане. Моменты подбирают таким образом, чтобы каждый последующий электродвигатель помогал предыдущему. Разница величины моментов определяет противонапряжение.

Во всех блоках тормозные устройства, притормаживающие неработающие электродвигатели в период заправки стана. На плитах всех блоков установлены гидравлические прижимы, удерживающие проволоку от распушивания при заправке стана.

Чистовой блок снабжен двухступенчатым барабаном, обе ступени которого имеют один и тот же диаметр 750 мм, что позволяет проводить рихтовку готовой проволоки на специальном рихтовальном устройстве перед намоткой ее в мотки или на катушку на намоточном аппарате.

В таблице 12 приведены основные характеристики станом, изготовленных «Алма-Атинским заводом тяжелого машиностроения» (Казахстан).

Таблица 12 – Технические характеристики прямоточных станом АЗТМ [14]

| Параметр                              | Стан        |           |            |           |            |
|---------------------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                                       | 5/750       | 3-4/550   | 5-6/550    | 5-6/550   | 5-7/350    |
| Максимальный диаметр заготовки, мм    | 8-12        | 7         |            |           | 2-3,2      |
| Предел прочности заготовки, МПа       | 1000...1400 | 300...600 | 700...1400 | 300...600 | 400...1400 |
| Диаметр проволоки после волочения, мм | 3           |           | 2...4,3    |           | 0,75...1,9 |
| Диаметр барабана, мм                  | 750         | 375/550   | 550        | 375/550   | 350        |
| Одноступенчатого                      |             |           | 425/550    |           | 240/350    |
| Двухступенчатого                      |             |           |            |           |            |
| Скорость волочения, м/с               | 2...5       | 12,5      | 11,5       | 20        |            |
| Суммарное обжатие                     | 60...80     | -         |            | 60...90   | 65...92    |
| Мощность электродвигателя, кВт        | 55          |           |            |           | 20         |
| Число электродвигателей               | 6           | 3         | 5          |           | 6          |
| Потребляемая мощность, кВт            | 400         | 230       | 400        |           | 160        |

Дальнейшее развитие конструкций прямоточных станом направлено на интенсификацию процесса волочения за счет улучшения охлаждения проволоки. Станом оснащают системами воздушно-водяного охлаждения не только барабаном, но и непосредственно проволоки.

Отличительные особенности конструкции станом фирмы «Херборн-Брайтенбах» (Германия) – увеличенная длина барабаном и установка блоком. Размещение на барабаном по тридцати – сорока витком дает возможность хорошо охлаждать проволоку, а наклон барабаном позволяет проволоке без перегибов поступать на следующий переход. Интенсивное охлаждение барабана и волокодержателей осуществляется водой. В первом блоке предусмотрен барабан

для работы с накоплением, поэтому можно выполнить сварку заготовки без останковки стана.

Развитие технологии волочения, инструмента и смазок позволило создать компактное, высокопроизводительное и простое оборудование для волочения в несколько ниток проволоки из меди и медных сплавов. Эти станы работают со скольжением и конструктивно отличаются тем, что на приводном валу вместо одной шайбы закреплены две или три. Скорость волочения при этом равна 10...15 м/с.

Многониточное волочение успешно применяют на кабельных заводах при производстве тонкой и тончайшей проволоки на агрегатах, совмещающих волочение, отжиг и изолирование. В этом случае скорость волочения ограничивается скоростью смежной операции.

### 39 Волоочильные станы с прямолинейным движением материала

В отечественной и зарубежной практике трубного производства волочением получают трубы из углеродистых и легированных сталей и сплавов диаметром от 0,1 до 480 мм и толщиной стенки от 0,01 до 40 мм разного профиля.

Деформацию металла при волочении трубы характеризуют:

*коэффициентом вытяжки*

$$m = L_1/L_0 = F_0/F_1,$$

где  $L_0$ ,  $F_0$ , и  $L_1$ ,  $F_1$  – длина и площадь поперечного сечения трубы до и после волочения;

*относительное обжатие*

$$\varepsilon = (F_0 - F_1) 100/F_0,$$

*коэффициент уменьшения площади поперечного сечения трубы*

$$k = 1/m = F_1/F_0.$$

В трубном производстве применяют *волочение без оправки, на неподвижной короткой оправке на длинной (подвижной, плавающей) оправке, на плавающей (самоустанавливающейся) оправке, волочение раздачей* (рисунок 128).

| Волочение           |       | Действующие |            |
|---------------------|-------|-------------|------------|
| способ              | схема | напряжения  | деформации |
| Без оправки         |       |             |            |
| На короткой оправке |       |             |            |
| Раздача напряжением |       |             |            |
| Раздача на упор     |       |             |            |

Рисунок 128 – Способы волочения труб, действующие напряжения деформации металла в очаге деформации [14]

*Волочение без оправки* применяют для уменьшения диаметра трубы, деформации трубы за проход  $\varepsilon = 10...35\%$ , а вытяжка  $\mu = 1,1...1,5$ . Степень деформации и вытяжки зависит от  $S_T/D_T$ :

|                   |           |           |           |      |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------|
| $S_T/D_T$         | 0,04-0,18 | 0,10-0,18 | 0,20-0,25 | 0,25 |
| $\mu$             | 1,40-1,50 | 1,33      | 1,22      | 1,11 |
| $\varepsilon, \%$ | 28-32     | 25        | 18        | 10   |

Согласно экспериментальным данным при  $S_T/D_T > 0,365...0,190$ ; исходная толщина стенки трубы в процессе волочения уменьшается, а при  $S_T/D_T < 0,165...0,190$  – увеличивается.

*Волочение на короткой (неподвижной) оправке* применяют для уменьшения диаметра и толщины стенки трубы. За один проход  $\varepsilon = 15...40\%$ ,  $\mu = 1,2...1,7$ . Изменение стенки трубы не превышает 26%,  $\mu = 1,1...1,35$ . Минимальный диаметр прокатываемых труб 8...10 мм ограничен размерами стержня, на котором крепится оправка.

*Волочение на длинной плавающей оправке* также применяют для уменьшения диаметра и толщины стенки трубы. Длинная оправка, находящаяся в трубе, не закрепляется на станине, а перемещается вместе с трубой при волочении (тяговое усилие прикладывается к трубе и оправке) в очаге деформации создается благоприятная схема напряженного состояния, что позволяет увеличить вытяжку, главным образом за счет обжатия по стенке ( $\mu=1,43...1,54$ ). После волочения оправку извлекают из трубы.

*Волочение на плавающей оправке* применяют для изготовления труб большой длины, а также, когда необходимо разгрузить стержень для крепления оправки от осевых усилий  $Q_0$  и устранить его вибрации. При этом способе волочения улучшается качество внутренней поверхности труб и повышается стойкость оправок. Вытяжка за проход составляет 1,2...1,8, обжатие по диаметру 4...4,5%, а уменьшение (незначительное) толщины стенки 0,1...0,2 мм.

*Волочение раздачей* применяют при изготовлении труб большого диаметра, при калибровании внутреннего диаметра трубы, при изготовлении биметаллических труб, а также для исправления брака по внутреннему и наружному диаметрам.

Трубоволоочильные станы, подразделяемые на станы прямолинейного и бухтового назначения, классифицируют по способу волочения (рисунок 128) (безоправочные на короткой и длинной оправках, для раздачи труб); по величине тягового усилия (таблицы 13, 14); по количеству одновременно протягиваемых труб (одно- и многониточные), по типу привода (цепные, реечные, с гидравлическим или канатным приводом; барабанного типа полунепрерывные и непрерывные). На современных волоочильных станах можно протягивать трубы длиной 14...50 м со скоростью волочения 4...120 м/мин.

Таблица 13 – Характеристика отечественных труболовильных станков, выпускаемых ИЗТМ [14]

| Показатели                                      | Типы станков по усилению волочения, кН |         |          |          |          |
|---|--|---------|----------|----------|----------|
|   | 50                                     | 160     | 300      | 500      | 1500     |
| Диаметр обрабатываемых труб, мм                 | 5...25                                 | 20...60 | 40...150 | 40...130 | 94...155 |
| Длина волочения, м                              | до 12                                  | до 12   | до 12    | до 12    | до 12    |
| Число одновременно волочимых труб, шт.          | 1...3                                  | 1       | 1        | 1...3    | 1        |
| Номинальная скорость волочения труб, м/мин      | 50                                     | 55      | 55       | 50       | 17       |
| Мощность электродвигателя главного привода, кВт | 52                                     | 160     | 400      | 500      | 500      |
| Усилие гидропроталкивателя, кН                  | -                                      | -       | -        | до 800   | до 2450  |
| Габаритные размеры стана, м:                    |  |         |          |          |          |
| длина   | 27,5                                   | 28      | 29,7     | 29,3     | 31,7     |
| ширина  | 4,21                                   | 5,7     | 6,85     | 9,61     | 13       |
| высота  | 1,87                                   | 1,8     | 1,9      | 2,0      | 2,4      |
| Масса, т:                                       |  |         |          |          |          |
| с электрооборудованием                          | 29                                     | 51,2    | 76,1     | 148,1    | 260      |
| без электрооборудования                         | 26,1                                   | 45,6    | 57,7     | 121,7    | 238      |

Таблица 14 – Техническая характеристика некоторых зарубежных труболовильных станков [14]

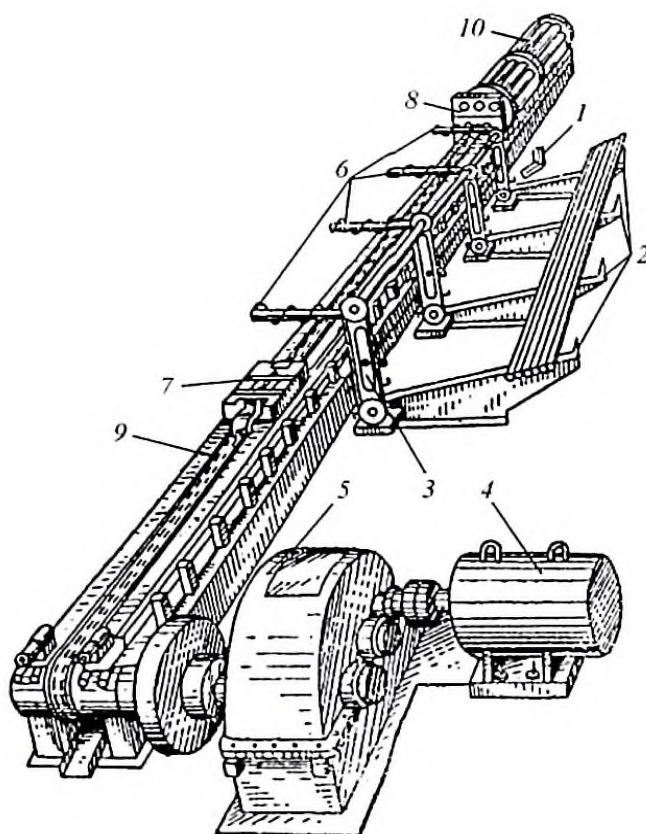
| Параметры                             | Kieserling,<br>Германия | Etna Stan-<br>dard, ША | Norton,<br>Англия | Kieserling,<br>Германия | Etna Stan-<br>dard, ША | Norton,<br>Англия |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
|                                       | Станы легкого типа      |                        |                   | Станы среднего типа     |                        |                   |
| Усилие волочения, кН                  | 160                     | 163                    | 150               | 320                     | 300                    | 300               |
| Число витков волочения                | 1, 2, 3                 | 1, 2, 3                | 1, 2, 3           | 1, 2, 3                 | 1, 2, 3                | 1, 2, 3           |
| Диаметр готовой трубы, м              | 20...60                 | 20...60                | 20...80           | 30...90                 | 30...90                | 30...100          |
| Длина волочения, м                    | 15                      | 17                     | 15                | 15                      | 20                     | 15                |
| Скорость волочения (расчетная), м/мин | 40                      | 45                     | 46                | 40                      | 30                     | 30                |
| Скорость возврата тележки, м/мин      | 120                     | 90                     | 120               | 120                     | 80                     | 100               |
| Мощность главного привода, кВт        | 140                     | 150                    | 150               | 300                     | 280                    | 280               |
| Габариты, м:                          |                         |                        |                   |                         |                        |                   |
| длина                                 | 38                      | 42                     | 40                | 38                      | 48                     | 38                |
| ширина                                | 6                       | 6                      | 6                 | 5                       | 6                      | 5                 |

## 40 Назначение и общее устройство станов прямолинейного волочения труб

Станы прямолинейного волочения делятся на периодические, полунепрерывные и непрерывные. Механизированные цепные станы прямолинейного волочения периодического действия используют для изготовления холоднотянутых труб массового сортамента.

Компоновка оборудования стана обусловлена способом волочения.

На рисунке 129 показан трубоволочильный цепной стан усилием 150 кН для безправочного волочения.



- 1 - заслонка-отсекатель; 2 - загрузочный стеллаж; 3 - цепной элеватор;  
4 - главный электродвигатель; 5 - редуктор; 6 - шнеки; 7 - тележка; 8 - люнет;  
9 - волочильная цепь; 10 - поворотный барабан

Рисунок 129 – Трубоволочильный стан [14]

За рубежом производят многониточные волочильные станы, что позволяет увеличить производительность стана и улучшить циклограмму его работы.



## 41 Конструкции станов бухтового волочения труб

Станы бухтового (барabanного) волочения труб с вертикальным барабаном (рисунок 130, а) и горизонтальным (рисунок 130, б) расположением барабана применяют для безправочного волочения или при волочении на самоуставляющейся оправке.

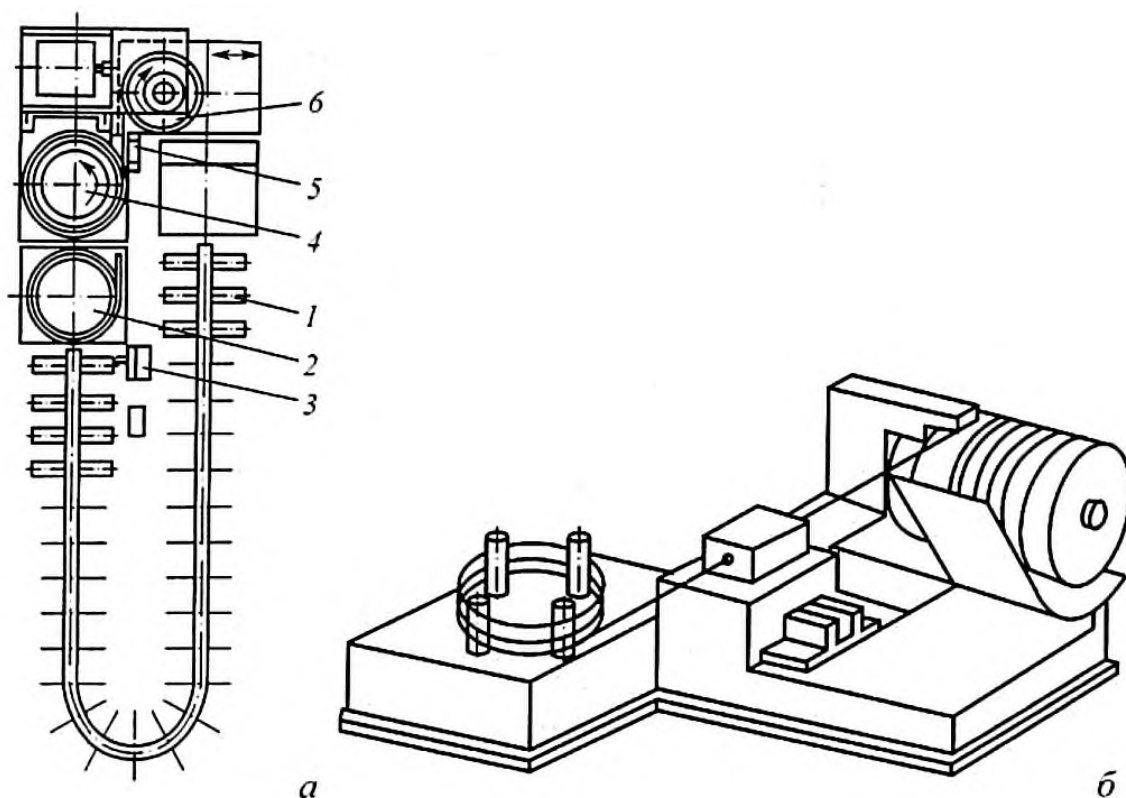


Рисунок 130 – Схемы волочильных станов с вертикальным (а) и горизонтальным (б) барабанами [14]

На заводах по производству труб из цветных металлов для этой цели применяют механизированные вертикальные или горизонтальные волочильные барабаны диаметром 2500, 1800, 1500, 1370 мм. Трубы в бухтах изготавливают с толщиной стенки 0,5...1,0 мм и ниже из заготовки, имеющей стенку толщиной 2,5...3,5 мм. Волочение выполняют на барабанах только с использованием плавающих оправок, в качестве заключительной операции используют безправочное волочение. Барабаны оснащены механизмом для острения конца трубы перед подачей ее в волоку и съемниками промежуточных бунтов. Достоинством волочильных барабанов является возможность волочения на них труб с разными скоростями. В большинстве случаев бухтовое волочение ведут на вертикальных барабанах (рисунок 130, а). Бухты, пройдя травление, подвесным конвейером 1 подаются к машине 3 для забивки концов, предварительно перед этой операцией внутрь трубы вводятся смазка и оправка, после чего произво-

дится подача на приемный стол 2; бухту устанавливают в размоточном барабане 4, а забитую головку трубы вводят через правильную роликовую обойму в коробку 5 с фильерами (направляющей и волочильной). Головка трубы зажимается специальным устройством, расположенным на волочильном барабане 6. Чтобы избежать обрыва трубы стан запускают при малой скорости. В процессе волочения размоточный барабан и волочильная коробка с роликовой обоймой за каждый оборот волочильного барабана опускается на величину, равную диаметру трубы. После окончания волочения передний конец освобождается, и бухта падает на транспортную тележку. Обжатие за проход при бухтовом волочении достигает 40%.

В таблице 15 приведены характеристики волочильных барабанов двух типоразмеров.

Таблица 15 – Характеристики волочильных барабанов [14]

|   |          |             |
|---|----------|-------------|
| Диаметр барабана, мм                          | 550      | 750         |
| Скорость волочения, м/мин                     | 40-55-81 | 35,5-67-103 |
| Масса бунта на барабане, кг                   | 80       | 250         |
| Грузоподъемность поворотного крана, кг        | 250      | 250         |
| Усилие волочения, кН                          | -        | 75          |
| Производительность (проектная) барабана, кг/ч | 150-840  | -           |

Таблица 16– Характеристики горизонтальных труболоочильных станом бухтового волочения [14]

| Станы                                       | ТБК-2200 | ТБ-2200 | ТБ-1500 |
|---|----------|---------|---------|
| Усилие волочения, кН                        | 150      | 150     | 150     |
| Наружный диаметр трубы, мм:<br>исходный     | 40-70..  | 30-60   | 25-50   |
| после волочения                             | 30-60    | 25-50   | 20-25   |
| Максимальная длина трубы после волочения, м | 75       | 120     | 200     |
| Максимальная масса трубы, кг                | 300      | 300     | 300     |
| Диаметр барабана, мм                        | 2200     | 2200    | 1500    |
| Скорость волочения, м/с                     | 1,5      | 1,5     | 2,0     |

Разработкой и изготовлением станом бухтового волочения за рубежом занимаются фирмы «Marchall Richard» (Великобритания), «Blaw Knox» (США), «Mannesmann Demag» (Германия) и др. Зарубежные фирмы выпускают станы с вертикальным барабаном и верхним расположением привода для волочения стальных труб. Характеристика некоторых станом бухтового волочения стальных труб этой конструкции приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Характеристика некоторых станов бухтового волочения стальных труб с вертикальным барабаном и верхним расположением привода [14]

| Страна-изготовитель станов          | Франция      | Великобритания |
|-------------------------------------|--------------|----------------|
| Мощность привода, кВт               | 300          | 150            |
| Усилие волочения, кН                | 100          | 86             |
| Скорость волочения, м/с:<br>рабочая | 2,5...6,5    | 1,45...5,8     |
| при максимальном усилии             | нет сведений | 1,45           |
| Диаметр барабана, мм                | 1520         | 1142           |
| Рабочая длина барабанов, мм         | 2200         | 1372           |
| Диаметр трубной заготовки, мм       | нет сведений | 33             |
| Максимальная толщина стенки, мм     | нет сведений | 2,7            |
| Производительность, кг/мин          | 100          | нет сведений   |

Существенными недостатками станов данной конструкции являются большая длина барабана и размещение значительного по массе привода в верхней части стана. Кроме того, при падении бухты с барабана возникает шум, а наружная поверхность труб при этом может быть повреждена.

Для предохранения трубы от повреждения рядом зарубежных фирм разработаны новые конструкции барабана, обеспечивающие непрерывный съем с него труб. Станы же имеют верхнее расположение барабана, подвеска которого осуществляется консольно, и бухта в процессе волочения не накапливается на барабане, а непрерывно, виток за витком, поступает в приемную корзину, находящуюся под барабаном и вращающуюся синхронно с ним. Это позволяет протягивать трубы большей длины, чем на обычных станах.

## 42 Выбор оптимальных параметров труболочильных станов

Проведенное на стане ВСТ–1500 исследование усилия волочения показало, что в момент разгона барабана перегрузка достигает двух номиналов и усилие волочения растет примерно по прямой пропорциональной зависимости. При установившемся движении барабана динамические нагрузки достигают 0,3-0,5 номинального усилия. При выходе конца трубы из волоки коэффициент динамичности увеличивается в 1,3-1,5 раза. На динамический характер колебаний сильно влияет некруглость формы барабана, поэтому установлено ограничение величины некруглости до 0,3 мм. Дифференциальное движение двухмассовой системы двигатель – барабан при разгоне описывается уравнениями:

$$I_1 \varphi_1'' + M_{\text{упр}} = M_{\text{дв}}, \quad (*)$$

$$I_2 \varphi_2'' - M_{\text{упр}} = -M_{\text{б}}, \quad (**)$$

где  $M_{\text{дв}}$  – момент двигателя;

$M_{\text{б}}$  – момент барабана;

$\varphi_1''$  – угол поворота двигателя;

$\varphi_2''$  – угол поворота барабана;

$I_1$  – момент инерции двигателя;

$I_2$  – момент инерции барабана;

$M_{\text{упр}}$  момент упругой связи при жесткости, равной  $cM_{\text{упр}} = c(\varphi_1 - \varphi_2)$ .

Система решается при задании законов изменения моментов  $M_{\text{б}}$  и  $M_{\text{дв}}$  по времени. Экспериментальные исследования показывают, что момент двигателя изменяется практически по всей паспортной характеристике и для упрощения расчетов его можно принять постоянным; момент сопротивления движения барабана  $M_{\text{б}}$  может аппроксимироваться линейной зависимостью

$$M_{\text{б}} = M_{\text{б.к}} t / t_p,$$

где  $t_p$  – время разгона;

$M_{\text{б.к}}$  – конечное значение момента  $M_{\text{б}}$ .

Поделив первое уравнение (\*) на  $I_1$ , второе (\*\*) на  $I_2$ , перемножим их на величину  $c$  и из первого вычтем второе:

$$c(\varphi_1'' - \varphi_2'') + \frac{c^2}{I_1}(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{c^2}{I_2}(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{c}{I_1} M_{\text{дв}} + \frac{c}{I_2} \frac{M_{\text{б.к}}}{t_p} t.$$

Так как  $c(\varphi_1'' - \varphi_2'') = M_{\text{упр}}''$ , тогда

$$M_{\text{упр}}'' + \beta^2 M_{\text{упр}} = \frac{c}{J_1} M_{\text{дв}} + \frac{c}{J_2} \frac{M_{\text{б.к.}}}{t_p} t,$$

где  $\beta^2 = 6 \left( \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} \right)$  – квадрат собственной частоты привода стана.

Решение последнего уравнения имеет вид:

$$M_{\text{упр}} = \frac{M_{\text{дв}}}{1 + \frac{I_1}{I_2}} + \frac{M_{\text{б.к.}}}{1 + \frac{I_2}{I_1}}$$

и коэффициент динамичности

$$K_{\text{д}} = \frac{M_{\text{упр max}}}{M_{\text{ст}}} + 1.$$

Цикл волочения бухты на станах типа ВСТ-1/1500 делится на девять переходов:  $t_1$  – подача бухты с верхнего транспортера на стол;  $t_2$  – заправка конца трубы в волоку;  $t_3$  – захват трубы клещами и холостой ход барабана;  $t_4$  – разгон барабана до пусковой скорости;  $t_5$  – разгон  $v_{\text{п}}$  до рабочей скорости  $v_{\text{в}}$ ;  $t_6$  – установившееся волочение;  $t_7$  – торможение до скорости  $v_{\text{п}}$  и сброс бухты;  $t_8$  – подъем размоточного стола и возврат системы в исходное положение;  $t_9$  – подготовительные операции, не перекрываемые волочением (подготовка бухты к волочению, смена волок, инструмента и т.п.). Эти операции составляют основное время волочения  $t_{\text{в}} = t_4 + t_5 + t_6 + t_7$  и вспомогательное время  $t_{\text{вс}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_8 + t_9$ .

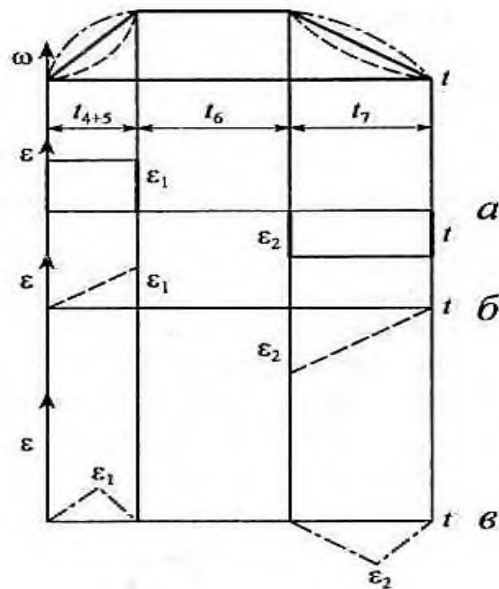
Общее время операции

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{в}} + t_{\text{вс}}.$$

Исследования на действующих станах показали, что относительная величина машинного времени  $K_{\text{м}} = t_{\text{в}} / t_{\text{оп}}$  значительно возрастает при увеличении длины трубы  $l$ :

$$K_{\text{м}} \approx 0,33 + 0,09 \cdot 10^{-2}(l - 50).$$

Например, при длине трубы  $l = 350$  м коэффициент  $K_{\text{м}} = 0,6$ . Помимо длины трубы на величину  $K_{\text{м}}$  влияет выбор оптимальной скорости волочения. Графически угловую скорость волочения  $\omega$  можно представить в виде трапеции (рисунок 131).



а - постоянство углового ускорения по времени; б - линейное изменение углового ускорения по времени; в - треугольный закон изменения углового ускорения

Рисунок 131 – Диаграмма скорости волочения [9]

Соответственно закону изменения угловой скорости по времени происходят обрывы волочимой трубы. Поэтому угловое ускорение не должно увеличиваться скачком (рисунок 131, а), а может быть принято по линейным (рисунок 131, б) или треугольным законом изменения (рисунок 131, в). Соответственно угловые скорости  $\omega$  будут изменяться по линейному, квадратичному и параболическому законам: сплошная, пунктирная и штрихпунктирная линии графика  $\omega(t)$ .

Рассмотрим кинематику процесса в соответствии с циклом волочения.

При линейном законе изменения  $\varepsilon = \varepsilon_1 \frac{t}{t_{4+5}}$  угловая скорость равна:

$$\omega = \frac{\varepsilon_1 \cdot t^2}{2t_{4+5}} + c.$$

При  $t = 0$  постоянное,  $c = 0$  и  $\omega = \frac{\varepsilon_1 \cdot t^2}{2t_{4+5}}$ ,

откуда

$$\varphi_{4+5} = \varepsilon_1 t^3 / 6t_{4+5}.$$

Время  $t_{4+5} = \frac{2\omega}{\varepsilon_1}$  и угол поворота  $\varphi_{4+5} = \frac{2}{3} \frac{\omega^2}{\varepsilon_1}$ .

Соответственно

$$\varphi_7 = \frac{2\omega^2}{3\varepsilon_2}.$$

Угол волочения определяется углом цикла  $\varphi$  и равняется

$$\varphi_B = \varphi - \frac{2}{3}\omega^2\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right).$$

Время волочения

$$t_B = \frac{2\omega}{\varepsilon_1} + \frac{2\omega}{\varepsilon_2} + \left[\varphi - \frac{2}{3}\omega^2\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2}\right)\right]/\omega.$$

Максимальная производительность волочения определяется оптимальной величиной  $\omega_0$ , для чего определяется первая производная  $\frac{\partial t_B}{\partial \omega}$  и приравнивается к нулю:

$$\frac{2}{\varepsilon_1} + \frac{2}{\varepsilon_2} - \frac{\varphi}{\omega_0^2} - \frac{2}{3\varepsilon_1} - \frac{2}{3\varepsilon_2} = 0.$$

Отсюда находим

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{3\varphi\varepsilon_1\varepsilon_2}{4(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}}.$$

Управление процессом волочения требует равенства  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$  и величина  $\omega_0 = \sqrt{3\varphi\varepsilon/8\omega_0} = \sqrt{3\varphi\varepsilon/8}$ .

Учитывая, что  $v = \omega_0 R$ ,  $\varepsilon R = a$  и  $\varphi R = l$ , находим оптимальную скорость волочения  $v_{B1}$  в зависимости от длины трубы  $l$  и линейного ускорения  $a$ :

$$v_{B1} = \sqrt{3la/8}.$$

Оптимальное время цикла  $t_{B1} = 3,3\sqrt{l/a}$ .

Для треугольного вида закона изменения ускорения оптимальные скорость и время волочения равны:

$$v_{B2} = \sqrt{0,5la}, \quad t_{B2} = 2,8\sqrt{l/a}.$$

### 43 Расчеты рабочих линий станов прямолинейного волочения труб

Рабочая линия одноцепного волочильного стана (рисунок 132) состоит из рабочего стола 1 со стойкой волок, тяговой цепи 2, главного привода волочильной тележки 3, механизма возврата тележки и механизма сбрасывания труб 4.



Рисунок 132 – Рабочая линия одноцепного волочильного стана [14]

В рабочую линию двухцепного стана входят: рабочий стол, волочильная тележка, привод цепи, коромысло, стойка склиз, дорожка, приемно-разборочное устройство, установка для заковки концов, задающие ролики, загрузочный барабан, гидро- и пневмопривод, проталкиватель, узел густой и жидкой смазки, электрооборудование и другие устройства и механизмы. В составе оборудования рабочей линии двухцепного стана нет механизмов возврата тележки и сбрасывания труб. Протянутые трубы подаются в свободное пространство между боковыми цепями и по склизам скатываются в карманы.

Рабочие линии высокомеханизированных двухцепных волочильных станков, выпускаемых фирмой «Kieserling», изготавливаются секционными в зависимости от длины протягиваемых труб. Каждая секция состоит из Г-образных стоек, соединенных балками коробчатого сечения, на которых смонтированы двухъярусные направляющие желоба с установленными в них незамкнутыми цепями и катками волочильной тележки. Цепи, фиксируемые в поперечном сечении в направляющих желобах, служат для рабочего и холостого перемещения волочильной тележки. Возврат тележки производят реверсированием привода. Главный привод станков выполняют от двигателей постоянного или переменного тока. Конструкция станины позволяет свободно падать протянутым трубам в пространство между балками и по склизам сползать в приемные карманы.

Расчеты основных узлов и деталей рабочих линий станов прямолинейного волочения труб выполняют по существующим методикам. Расчету на прочность подлежат: цепная передача, плашковая автоматическая тележка, ходовые колеса и крюк тележки, доски для установки волок, пневматический цилиндр и вал рычагов сбрасывателей готовых изделий.



#### 44 Расчеты станов бухтового волочения труб

При бухтовом волочении используют следующие методы: безоправочное волочение на жесткой оправке и волочение на мягкой оправке (сердечнике).

При волочении на жестком сердечнике усилие  $P$  складывается из усилия волочения трубы:

$$P_{\text{тр}} = [\sigma_{\text{пр}} (F_{\text{к}}/F_{\text{о}})^{A-1} + \frac{A\sigma_{\text{ттр}}}{A-1} [1 - (F_{\text{к}}/F_{\text{о}})^{A-1}]] F_{\text{к}},$$

и усилия смятия сердечника:

$$P_{\text{сер}} = \frac{B\sigma_{\text{т.сер}}}{B-1} [1 - (F_{\text{к.сер}}/F_{\text{о.сер}})^{B-1}] F_{\text{о.сер}},$$

где  $F_{\text{к}} = \frac{(D_{\text{к}}^2 - d_{\text{к}}^2)\pi}{4}$  – площадь сечения трубы на выходе из волоки;

$F_{\text{о}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{н}}^2 - d_{\text{н}}^2)$  – площадь сечения трубы на входе в волоку;

$F_{\text{к.сер}} = \pi d_{\text{к}}^2 / 4$  – площадь сечения сердечника на выходе из волоки;

$F_{\text{о.сер}} = \pi d_{\text{н}}^2 / 4$  – площадь сечения сердечника на входе в волоку;

$A = \frac{\text{tg}\alpha + f_1}{\text{tg}\alpha - \frac{d_{\text{к}}}{D_{\text{к}}}\text{tg}\alpha_1} - 1, 4 \frac{\text{tg}\alpha_1 \mp f_2}{\left(\frac{d_{\text{к}}}{D_{\text{к}}}\right)\text{tg}\alpha - \text{tg}\alpha}$ ;

$B = 1 \pm f_2 \cdot \text{ctg}\alpha_1$ ;

$\alpha$  – угол конуса волоки;

$\alpha_1$  – угол конуса сердечника ( $\alpha_1 \approx 0,5\alpha$ );

$f_1$  – коэффициент трения в инструменте ( $f_1 = 0,15$ );

$f_2$  – коэффициент трения между трубой и сердечником.

При волочении на мягком сердечнике расчетные формулы не изменяются, но в формулах коэффициентов принимается нижний знак « - ».

При работе прочности тела барабана  $D_6$  под давлением усилия волочения и момента изгиба от этого усилия необходимо определить диапазон изменения диаметров:

$$D_{\text{бmax}} = 20 (r_{\text{ср}}^2 / S_{\text{к}}) \text{ и } D_{\text{бmin}} = 16,8 (r_{\text{ср}}^2 / S_{\text{к}}),$$

где  $r_{\text{ср}}$  – средний диаметр трубы;

$S_{\text{к}}$  – толщина стенки трубы.

## Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое обработка металлов давлением?
- 2 Дайте определение прокатному стану.
- 3 Перечислите основное и вспомогательное оборудование прокатного стана.
- 4 Как классифицируются прокатные станы в зависимости от формы изделия?
- 5 Как классифицируются прокатные станы в зависимости от числа клетей?
- 6 Как классифицируются прокатные станы в зависимости от их назначения?
- 7 Какие агрегаты составляют главную рабочую линию прокатных станов?
- 8 Какие особенности есть у станов горячей прокатки?
- 9 Какие существуют типы станин рабочих клетей?
- 10 Какие основные параметры определяют прокатные станы?
- 11 Какие особенности конструкции валков листовых и сортовых станов?
- 12 Как рассчитывается прочность станин клетей?
- 13 Какие особенности расчета валков листовых и сортовых станов?
- 14 Какие особенности расчета валков многовалковых клетей?
- 15 Какие подшипниковые узлы применяются в качестве опор валков?
- 16 Какие конструкции применяются для создания заданного просвета между валками?
- 17 Как рассчитывается жесткость рабочей клетки?
- 18 Существующие схемы привода валков рабочей клетки.
- 19 Какие основные агрегаты входят в состав трубопрокатного стана?
- 20 Как осуществляется прошивка отверстий в прошивных станах?
- 21 Как осуществляется раскатка на пилигримовых станах?
- 22 Какие особенности конструкций отличают редуционные и калибровочные станы?
- 23 Какие особенности у станов холодной прокатки труб?
- 24 Какие особенности конструкции у роликовых станов холодной прокатки по сравнению со станами холодной прокатки труб?
- 25 Какие особенности конструкции отличают роликовые клетки трубоформовочного стана?
- 26 Какие существуют системы гидропривода гидравлических прессов?
- 27 Какие конструктивные схемы у станов однократного и многократного волочения?
- 28 Какие особенности конструкции имеют станы с прямолинейным движением проволоки?
- 29 Какие конструкции применяются при волочении труб?
- 30 Как оптимизируются параметры трубоволочильных станов?
- 31 Какие основные узлы и механизмы есть у горизонтальных гидравлических прессов?
- 32 Как устроена рабочая клеть прокатного стана и какие механизмы входят в ее состав?
- 33 Какие клетки называют предварительно напряженными?

- 34 Из каких деталей состоит узел рабочих валков?
- 35 Для чего предназначены устройства установки и уравнивания валков?
- 36 Какие методы расчета станин на прочность и жесткость Вам известны?
- 37 Обоснуйте необходимость применения предохранительных устройств в рабочей клетке стана.
- 38 Как контролируют натяжение полосы между рабочими клетками стана?
- 39 Что означает термин «перевалка»?
- 40 Как выполняется перевалка в производственных условиях?
- 41 Какие способы и устройства для измерения силы прокатки Вам известны?
- 42 Чем индивидуальный привод рабочих валков прокатного стана отличается от группового?
- 43 Чем адаптивный привод рабочих валков прокатного стана отличается от рекуперативного?
- 44 Перечислите положительные моменты объединения электродвигателя и редукторной части в мотор-редуктор.
- 45 Как устроена шестеренная клетка и чем она отличается от редуктора?
- 46 Какие конструкции шпинделей Вам известны?

## Список использованных источников

- 1 Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Машины и агрегаты металлургического производства. Т. IV-5 / Н.В. Пасечник, В.М. Синицкий, В.Г. Дрозд и др.; Под общ. ред. В.М. Синицкого, Н.В. Пасечника. 2-е изд., исправл. 2004. – 912 с.
- 2 Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
- 3 Крайнев А.Ф. Техника и технологии в историческом и логическом развитии. - М.: ИД Спектр, 2009. – 526 с.
- 4 Металлургия: Учебник для вузов / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников, С.В. Грачев, Е.Л. Фурман, В.Б. Ляшков. – Екатеринбург: УГТУ, 2001. – 395 с.
- 5 Третьяков А.Ф. Технология конструкционных материалов. Курс лекций: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 327 с.
- 6 Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под общ. ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.
- 7 Колесников А.Г. Технологическое оборудование прокатного производства: учебное пособие / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Мальцев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 158 с.
- 8 Основы металлургического производства: учебник / Под общ. ред. В.М. Колокольцева. – СПб.: Лань, 2017. – 616 с.
- 9 Лукашкин Н.Д., Кохан Л.С., Якушев А.М. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с.
- 10 Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. - М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
- 11 Целиков А.И., Зюзин В.И. Современное развитие прокатных станов. - М.: Металлургия, 1972. – 399 с.
- 12 Шаталов Р.П. Расчет, проектирование и применение прокатного оборудования. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 236 с.
- 13 Технология и оборудование трубного производства / В.Я. Осадчий [и др.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2001. - 608 с.
- 14 Машины и агрегаты для производства стальных труб / Ю.Ф. Шевакин [и др.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2007. – 388 с.

ГАНИН ДМИТРИЙ РУДОЛЬФОВИЧ

**ОСНОВНОЕ 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<br>26.12.2023 г.       |                                  |                  |
| Формат 60x90 $\frac{1}{16}$<br>Рег. № 264 | Печать цифровая<br>Тираж 10 экз. | Уч.-изд. л. 12,3 |

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Новотроицкий филиал

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

E-mail: [nf@misis.ru](mailto:nf@misis.ru)

Контактный тел. 8 (3537) 679729.