

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Факультет Материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Л.В. Радионова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Тема работы: «Разработка конструкции прокатной клетки КВАРТО 450»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

**ЮУрГУ-15.03.01-2019-126-00.00.00 ПЗ**

*Руководитель работы:*

\_\_\_\_\_ / *О. О. Сиверин* /  
*Автор работы*

\_\_\_\_\_ / *П. В. Милешкин* /

*студент группы П-448*

Челябинск  
2019

## АННОТАЦИЯ

Милешкон П. В.. «Разработка конструкции клетки кварто 450 ». Челябинск: ЮУрГУ, П-448, 2019; 41с., 9 илл., библиогр. список – 7 наименования, граф. часть – 2 л. формата А0, 1 л. формата А2.

В выпускной квалификационной работе произведен обзор имеющиеся в промышленности конструкции прокатных клеток КВАРТО. Изучены заводы-производители полосы из меди и ее сплавов.

Проведена разработка конструкции клетки кварто. Расчитаны энергосиловые параметры прокатки для трех разных сплавов меди. Произведены основные расчеты узлов, устройств и механизмов, влияющие на конструкцию клетки. По расчетам проведена проверка условий прочности.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЗОР ЗАВОДОВ-ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ И СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАННОЙ ПОЛОСЫ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ.....	5
1.1 ООО «УГМК-ОЦМ» .....	5
1.2 АО ОТ «Каменск-Уральский завод ОЦМ».....	12
1.3 ООО "Гайский завод по обработке цветных металлов" .....	14
2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВКИ .....	16
3. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КЛЕТЕЙ ДЛЯ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ .....	18
4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ.....	21
4.1 Энергосиловые параметры прокатки .....	21
4.2 Выбор электродвигателя .....	31
5. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНЫ .....	32
5.1 Расчет на статическую прочность прокатных валков .....	32
5.2 Расчет приводной части валка .....	35
5.3 Расчет на долговечность подшипников прокатных валков.....	35
5.4 Расчет гидравлического нажимного устройства.....	37
5.5 Расчет станины на прочность и жесткость .....	39
6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ КЛЕТИ.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	46

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного прокатного производства направлено в основном на улучшение технологических процессов, а, следовательно, и на повышение качества производимого изделия. Сокращения времени изготовления деталей и полуфабрикатов и объема ручного труда позволит увеличить объем выпускаемой продукции.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка конструкции четырехвалкового стана горячей прокатки для получения медных листов.

Листы из меди и ее сплавов используются во многих сферах, таких как:

1. для выпуска трансформаторов, кулеров, устанавливаемых в персональные компьютеры, элементов заземления, силовых конденсаторов, обмоток электрических двигателей, проводниковых материалов и других изделий для электросетей, радиотехнических устройств и электронных приборов;
2. в машино- и автомобилестроении;
3. в качестве эффективного теплоотвода от разнообразных греющих конструкций;
4. в металлообрабатывающей промышленности и на металлургических предприятиях;
5. при обустройстве современных климатических систем;
6. для изготовления декоративных элементов, фурнитуры для мебели, отделки фасадов домов и зданий, а также кровли.

# 1. ОБЗОР ЗАВОДОВ-ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ И СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАННОЙ ПОЛОСЫ ИЗ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Технологический процесс изготовления горячекатаного листового проката из меди включает следующие основные операции: нагрев слитка, горячую прокатку, травление, резку на готовый размер, правку.

Нагрев слитков производят в проходных или карусельных газовых печах до температуры 800-850 °С, а заканчивают горячую прокатку при температуре 600-650 °С, что способствует формированию благоприятной структуры и высоких механических свойств металла. Горячая прокатка меди обычно протекает без затруднений в широком температурном интервале, что позволяет прокатывать слитки толщиной 150-200 мм до 5,5-6,0 мм за 5-7 проходов.

Рассмотрим несколько заводов-производителей полосы из меди и ее сплавов.

## 1.1 ООО «УГМК-ОЦМ»

ООО «УГМК-ОЦМ» является лидером в отечественной отрасли по производству проката из меди и ее сплавов. Уральская горно-металлургическая компания – один из крупнейших производителей катодной меди, обеспечивающая около 38% российского производства. Медные катоды УГМК зарегистрированы на Лондонской бирже металлов под брендами UMMC и UMMC II.

Образованная в 2007 г., компания «УГМК-ОЦМ» объединила под своим началом ведущие заводы по обработке цветных металлов - Кировский завод по обработке цветных металлов, Кольчугинский завод цветных металлов и Завод медных труб (Майданпек, Сербия).

В дивизион цветной металлургии Уральской горно-металлургической компании входят 7 предприятий, расположенных в Свердловской, Челябинской,

Оренбургской областях, а также в Республике Северная Осетия – Алания.

Произведенный на горно-обогатительных комбинатах компании медный концентрат отправляется для дальнейшей переработки на медеплавильные заводы, где производят черновую медь: ООО «Медногорский медно-серный комбинат» (г. Медногорск, Оренбургская область), АО «Святогор» (г. Красноуральск, Свердловская область), ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (СУМЗ), филиал «Производство полиметаллов» АО «Уралэлектромедь» [1].

На рисунке 1.1.1 представлена последовательность производства черновой меди.

Произведённая на медеплавильных заводах черновая медь в слитках по несколько тонн отправляется на дальнейшую переработку на головное предприятие Уральской горно-металлургической компании АО «Уралэлектромедь» (г. Верхняя Пышма, Свердловская область), где металл переплавляется в аноды и подвергается электролитическому рафинированию, (рисунок 1.1.2).

В 2012 году на предприятии введена в эксплуатацию первая очередь нового цеха электролиза меди, где производится катодная медь. Аналогов подобного производства в России сегодня не существует. В частности, внедрена принципиально новая для предприятия – безосновная технология производства медных катодов (медные основы заменены на постоянные катоды из нержавеющей стали). В настоящее время на предприятии строится вторая очередь нового цеха электролиза меди, ввод ее в эксплуатацию запланирован на 2017 год.

На промплощадке АО «Уралэлектромедь» также расположено производство медной катанки, которая является заготовкой для предприятий кабельной промышленности. Драгоценные и рассеянные металлы производятся в химико-металлургическом цехе предприятия из шлама медеэлектролитного производства.

На рисунке 1.1.3 представлена схема производства медной катанки.

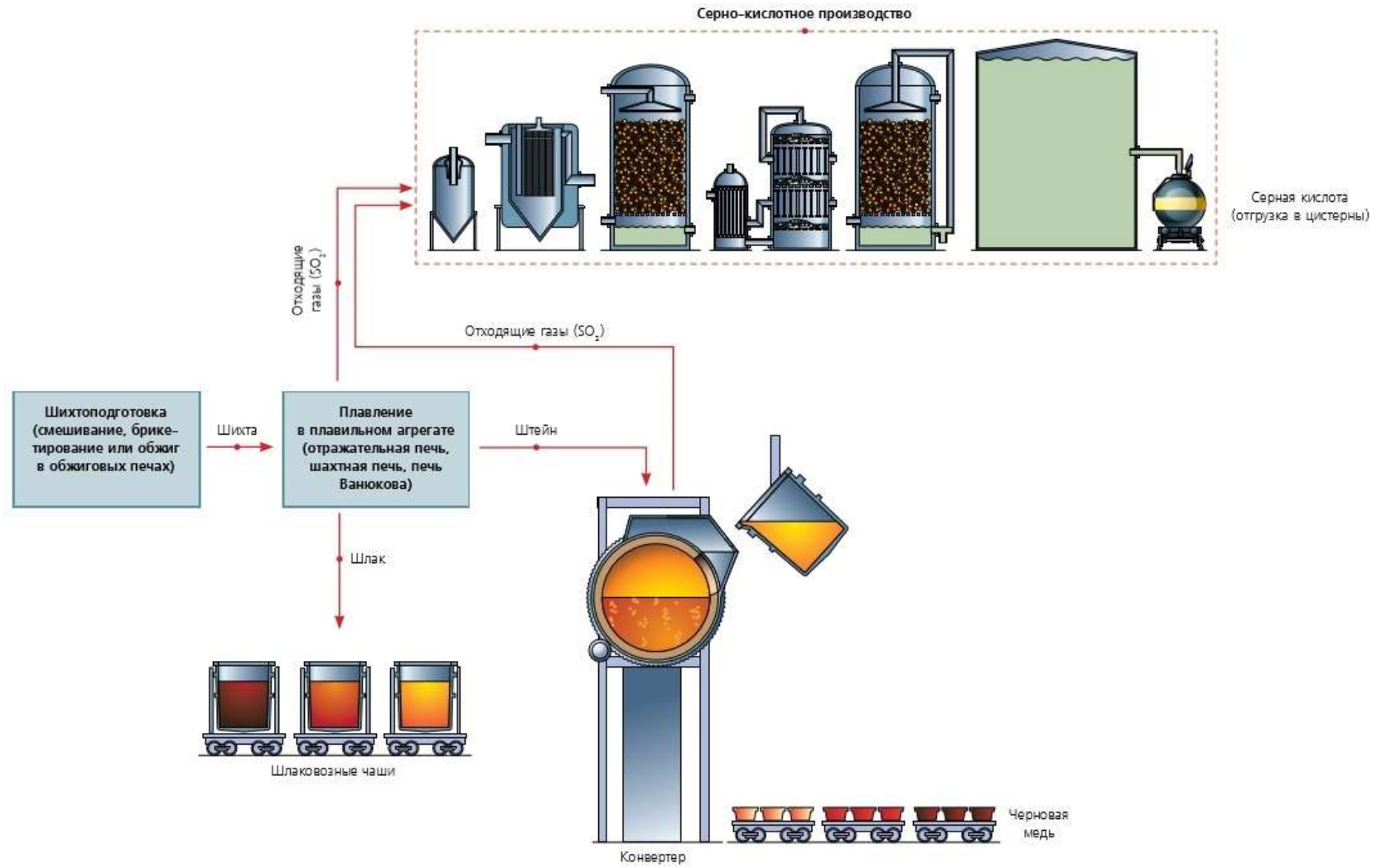


Рисунок 1.1.1 Схема производства черновой меди

МЕДЕПЛАВИЛЬНЫЙ ЦЕХ

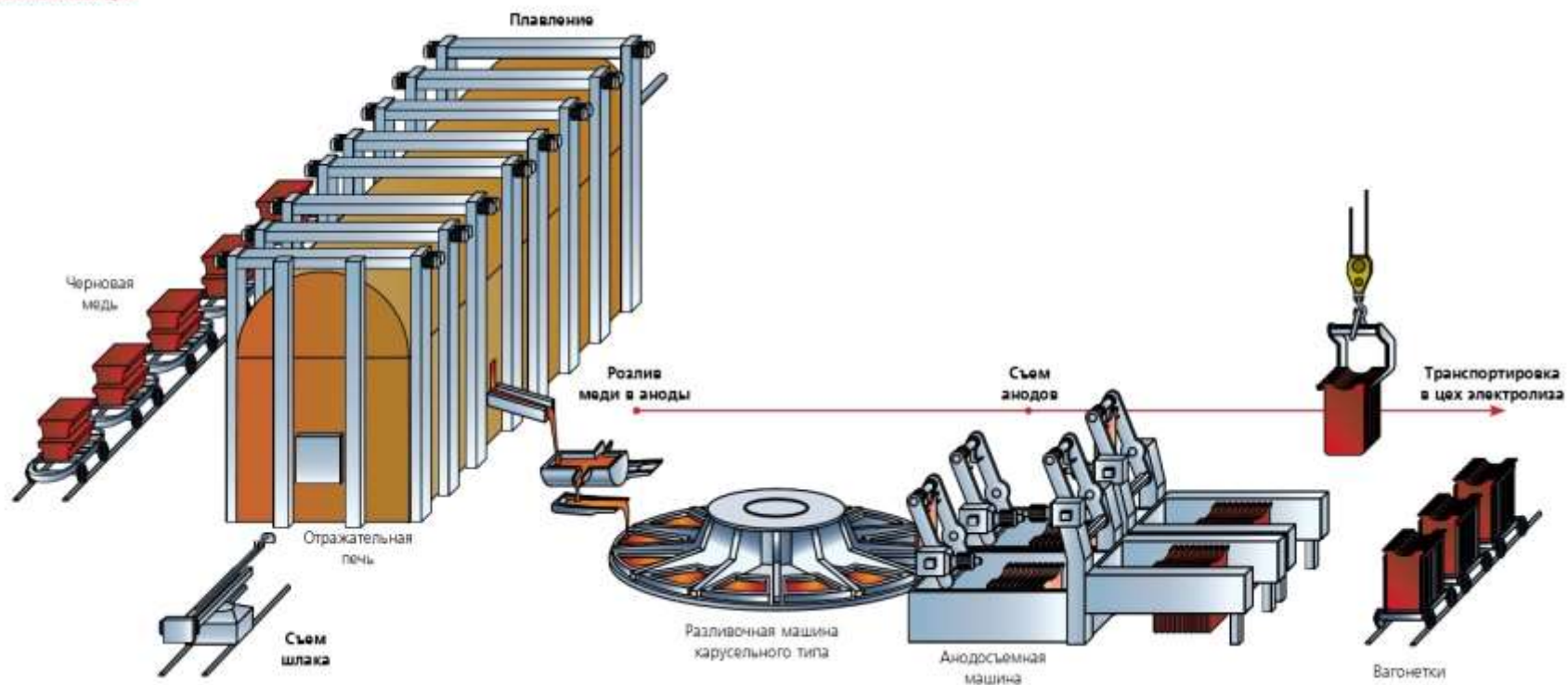


Рисунок 1.1.2. Схема медеаффинировочного производства



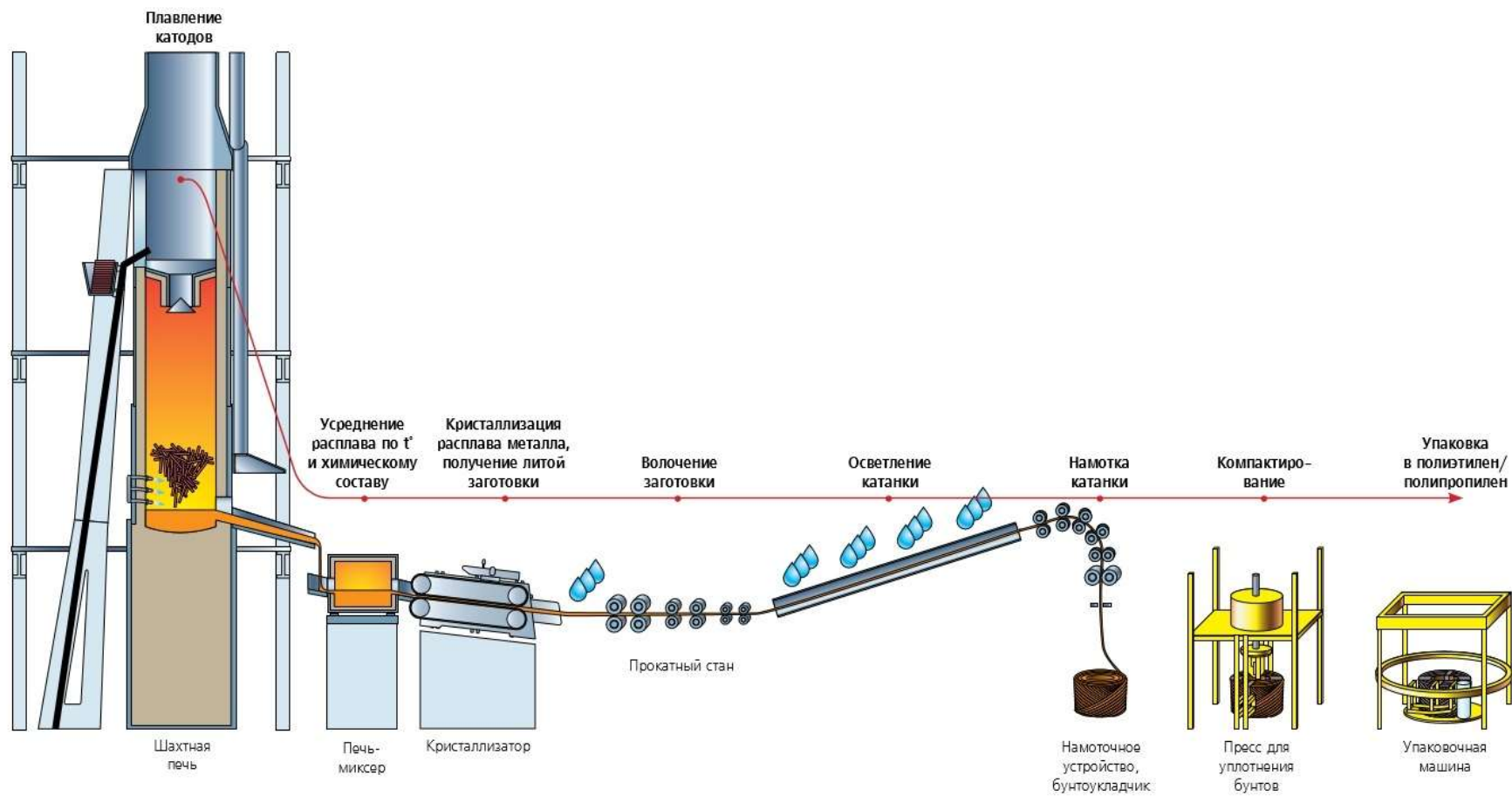


Рисунок 1.1.3. Схема производства медной катанки

Предприятия, входящие в сферу влияния ООО «УГМК-ОЦМ», производят практически всю номенклатуру медного, латунного, бронзового, медно-никелевого, никелевого проката: трубы, в том числе медные трубы для водоснабжения, отопления, кондиционирования воздуха и холодильного оборудования, прутки, листы, ленты, плиты, полосы, фольгу, шины, проволоку и т. д.

На рисунке 1.1.4 представлены схема производства проката цветных металлов.

При прокатке лент из меди в ООО «Кольчугинский ЗОЦМ» используются двухвалковый реверсивный стан 350×450.

Оборудование завода позволяет выпускать медные шины европейского качества в объеме до 500 тонн/месяц со следующими типоразмерами:

-толщина: 3-30мм;

-ширина: 5-120мм;

- длина в отрезках: 2-6 м.

На Кировском заводе ОЦМ (входит в состав Уральской горнометаллургической компании и ООО «УГМК-ОЦМ») пущен комплекс, включающий линию непрерывного литья полос из меди и латуней (фирма - 10 - «SMSMeer») и универсальный реверсивный стан кварто 160 холодной прокатки (фирмы «Danieli-Frohling») для прокатки тонких лент.

Для прокатки лент из меди МЗ в ООО «Кольчугцветметобработка» используются четырехвалковый реверсивный стан 150/500×400.

На стане привод рабочих валков осуществляется от электродвигателя постоянного тока через шестеренную клет. Материал валков - сталь 9Х. Стан состоит из рабочей клетки, двух моталок и правильно-задающей машины. Прокатка ведется с промежуточными отжигами. Боковые кромки обрезаются дисковыми ножницами. Бочки опорных валков - цилиндрические, рабочие валки имеют выпуклую профилировку.

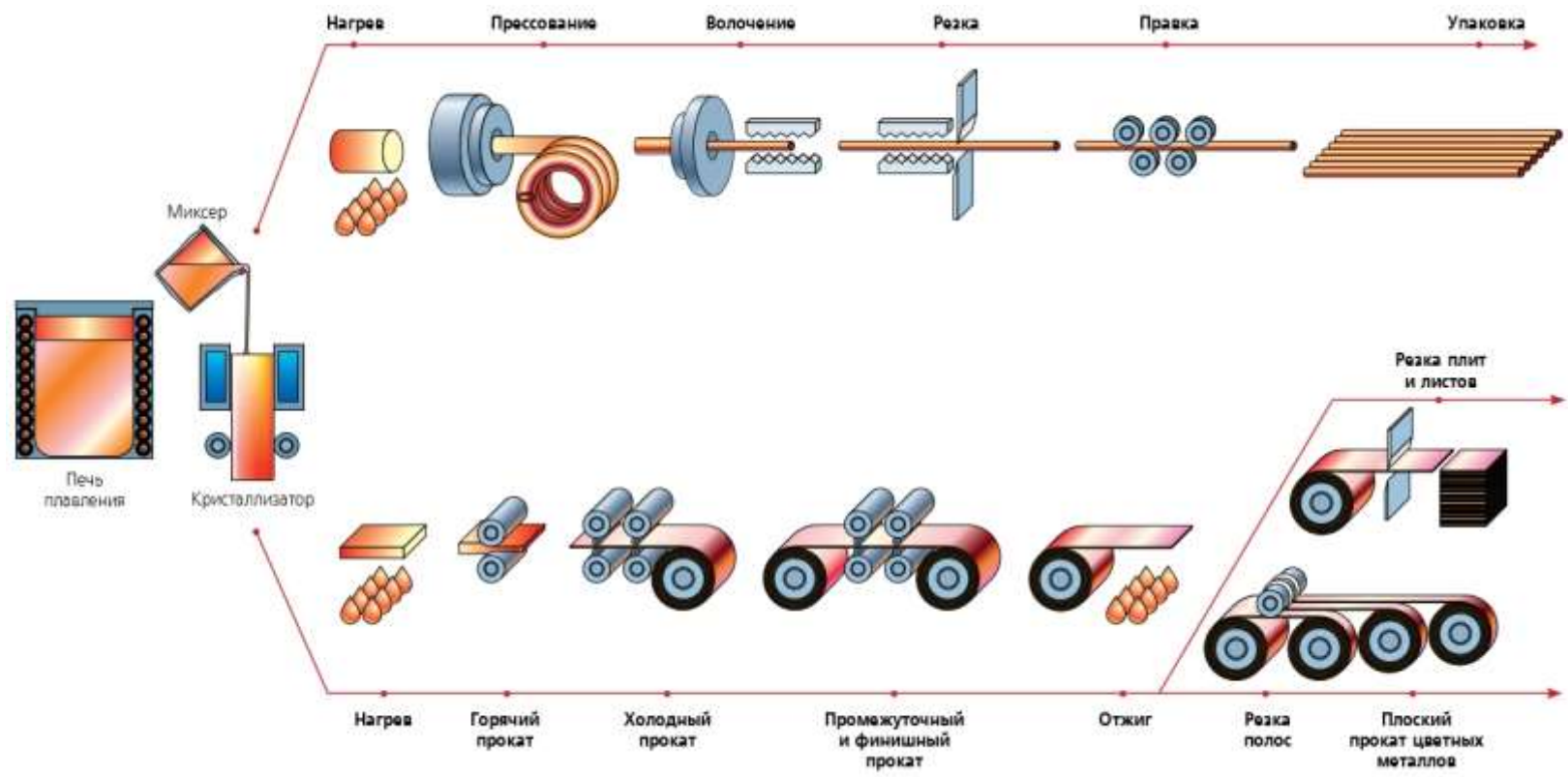


Рисунок 1.1.4 Схема производства проката цветных металлов

## 1.2 АООТ «Каменск-Уральский завод ОЦМ»

На Каменск-Уральском заводе ОЦМ введена в эксплуатацию линия по производству медных шин и комплекс по производству проката листов из латуней (производительность 50 тысяч тонн в год).

На АООТ «Каменск-Уральский завод ОЦМ» в течение 15 лет эксплуатируется полунепрерывный стан 250, спроектированный и построенный ЭЗТМ. Схема расположения основного и вспомогательного оборудования показана на рисунке 1.2.1.

Стан предназначен для прокатки заготовок под последующее волочение широкого сортамента полос прямоугольного и клиновидного сечений шириной 30... 120 мм и круглых профилей диам. 8...40 мм из меди.

Основное оборудование включает обжимную клеть трио 500 (N J) и три непрерывные группы (НГ): 350 (8 клеток, N 2-9), 300 (4 клетки, N 10-13) и проволочную 250 (3 вертикальные и 3 горизонтальные клетки, N 14-19).

Вспомогательное оборудование: летучие ножницы усилием 150 кН (для резки проката на мерные длины после НГ 350) и усилием 50 кН (для аварийной резки раската, перед НГ 300); транспортер - холодильник (для уборки проката, разрезанного на мерные длины); две моталки для круглых профилей и намоточное устройство для полос (для уборки проката после НГ 300); две моталки Эденборна (для уборки катанки); пластинчатый транспортер и др.

Прокатка полосы шириной 60... 125 мм и прутки относительно больших диаметров (20...40 мм), завершается в НГ 350, режутся на мерные длины (4...6 м) летучими ножницами усилием 150 кН и снимаются с рольганга на цепной транспортер-холодильник. Круглые профили диаметром 12...20 мм принимаются установленными после группы 300 двумя сортовыми моталками типа Гаррета (с тангенциальным подводом проката к барабану); прямоугольные и клиновидные полосы шириной 30...60 мм подаются после предварительного рассева (укладки «змейкой») в карманенакопителе на специализированную моталку, формирующую плоский бунт [2].

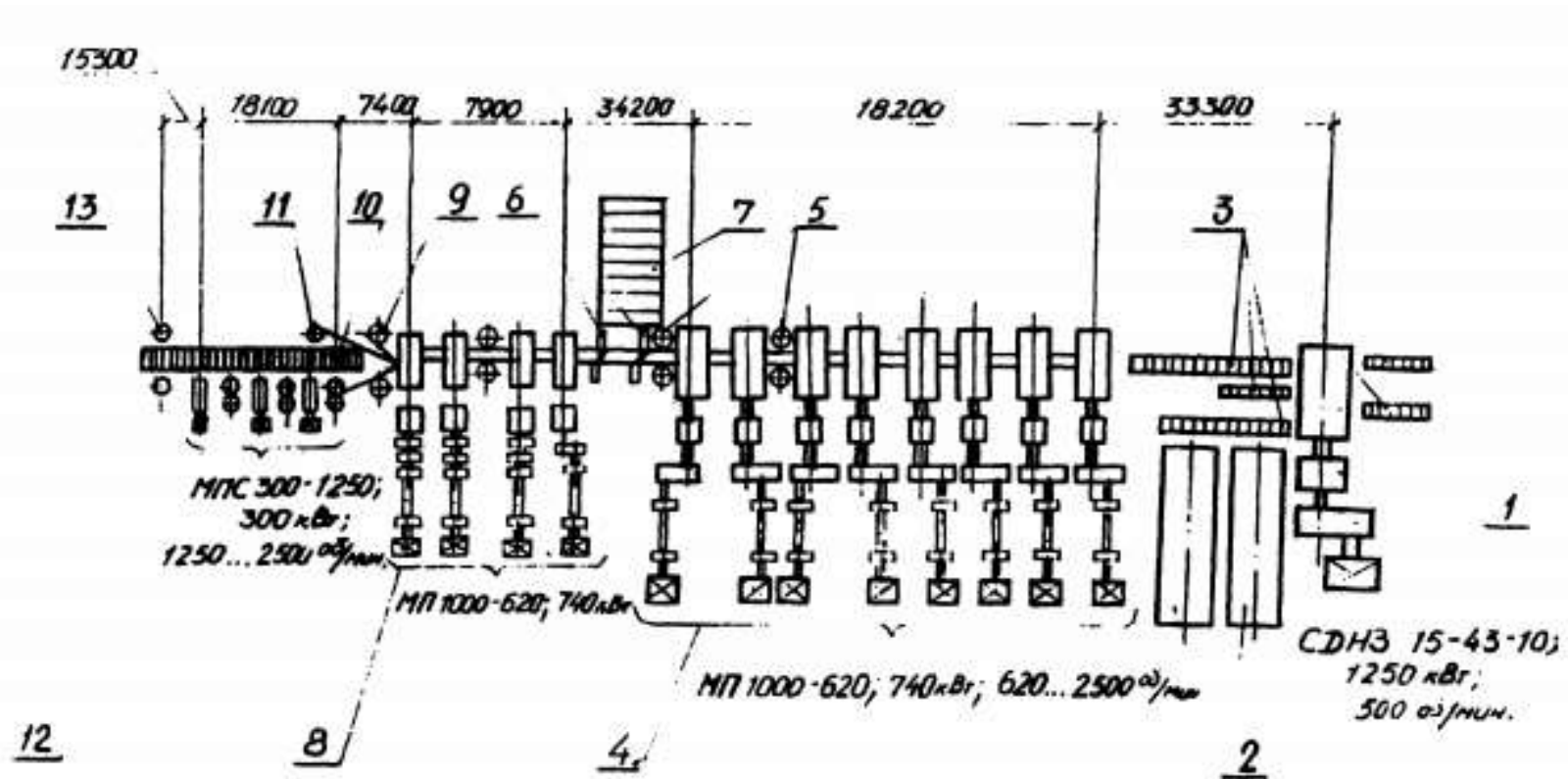


Рисунок 1.2.1 Схема расположения основного и вспомогательного оборудования ПНС 250: 1- линия ОК трио 500; 2- методические нагревательные печи; 3 - рольганги; 4 - НГ 350; 5 - кромочные клетки; 6 - летучие ножницы; 7- транспортер ножниц; 8 - НГ 300; 9 - сортовые моталки; 10 - пластинчаты транспортер; 11 - полосовая моталка; 12 - НГ 250; 13 - моталки Эденборга

### 1.3 ООО "Гайский завод по обработке цветных металлов"

Продукция ООО "ГЗОЦМ" [3] используется машиностроительными заводами для производства радиаторов и комплектующих изделий для автомобилей, тракторов, комбайнов, радиотехническими заводами - для производства реле и пусковой аппаратуры, в электротехнической промышленности - для производства электроламп, электропреобразователей, штекерных разъемов и др.

Общество осуществляет следующие основные виды деятельности:

- производство медного, латунного, медно-никелевого и никелевого
- проката, слитков, а также изделий из цветных металлов;
- заготовка, переработка и реализация лома цветных и черных металлов;
- производство монтажных, пуска - наладочных и ремонтных работ
- на объектах металлургических производств;
- производство строительных, строительного-монтажных, ремонтно-строительных работ.

Прокатный цех состоит из трех основных участков: заготовительный, термический и отделочный. В составе всех трех участков находятся порядка 30 единиц основного и более 50 единиц вспомогательного оборудования.

Основное оборудование заготовительного участка прокатного цеха включает в себя: печи с шагающим подом (2 ед.), стан горячий прокатки (1 ед.), три реверсивных стана холодной прокатки, отделочное оборудование, в составе которого, линии фрезерования рулонов и полос, линия травления и обезжиривания цветного металла и линии продольной и поперечной резки (4 ед.).

В состав оборудования термического участка входят: электрические печи садочного типа (6 ед.), газовые колпаковые печные установки (2 ед.), протяжные линии непрерывного отжига и травления металла (2 ед.).

В отделочном участке основное оборудование включает в себя: два реверсивных стана холодной прокатки, пятиклетевой стан холодной прокатки (1 ед.) отделочное оборудование, в составе которого, линия травления цветного металла (1 ед.) и линии продольной резки (5 ед.).

В состав вспомогательного оборудования цеха входит: пресс-брикеты (3 ед.), станции приготовления защитного газа (2 ед.), мостовые краны, грузоподъемностью 10 т и 32 т, в общем количестве 26 ед., станки заточки цилиндрических фрез (2 ед.) и вальцешлифовальные станки (5 ед.) и т.д.

## 2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВКИ

Согласно задания геометрические размеры получаемого изделия:

Толщина -  $h_1 = 0,5 \dots 10$  мм;

Ширина -  $b_1 = 400$  мм.

В качестве исходного полуфабриката выберем заготовку, изготовленную путем непрерывного литья, с размерами:

Толщина -  $h_0 = 50$  мм;

Ширина -  $b_0 = 400$  мм.

Определим необходимое число проходов. Для этого задаем среднюю вытяжку:

$$\lambda_{cp} = 1,52$$

Определим суммарную вытяжку:

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{S_0}{S_n}, \quad (1)$$

где  $S_0$  — площадь поперечного сечения заготовки;

$S_n$  — площадь поперечного сечения готового проката.

$$S_n = h_1 \cdot b_1, \quad (2)$$

где  $h_1$  — высота готового проката;

$b_1$  - ширина готового проката.

$$S_n = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ мм}^2.$$

$$S_n = h_0 \cdot b_0, \quad (3)$$

где  $h_0$  — высота заготовки;

$b_0$  - ширина заготовки.

$$S_n = 50 \cdot 400 = 20000 \text{ мм}^2.$$

По формуле (2) определим суммарную вытяжку:

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{20000}{200} = 100.$$

Найдем число проходов:



$$n = \frac{\ln \lambda_{\Sigma}}{\ln \lambda_{cp}}, \quad (4)$$

$$n = \frac{\ln 100}{\ln 1,52} = 11,0.$$

В работе [4] для четырехвалковых клетей прокатных станов предложены следующие соотношения длины бочки и диаметра ( $L/D$ ):

Рабочие валки - 3-5;

Опорные валки - 0,9-2,5.

Исходя из данных зависимостей можем найти:

$$\frac{L_p}{D_p} = 2...5, \quad (5)$$

$$\frac{L_o}{D_o} = 0,9...2,5, \quad (6)$$

$$D_p = \frac{450}{3} = 150 \text{ мм.}$$

$$D_o = \frac{450}{1,125} = 400 \text{ мм.}$$

### 3. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КЛЕТЕЙ ДЛЯ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ

Основным рабочим органом (инструментом) каждого прокатного стана являются валки, вращающиеся в подшипниках, установленных в рабочих клетях. Привод валков осуществляется электродвигателем через промежуточные, передаточные механизмы и устройства. Оборудование, предложенное для вращения валков, а также для восприятия возникающих при пластической деформации (обжатии) металла усилий и крутящих моментов, составляет рабочую линию клетки.

Рабочая клетя представляет собой две массивные стальные литые станины, установленные на плитовины, прикрепленные к фундаменту анкерными болтами. В станинах смонтированы подушки с подшипниками и валками, а также устройства для перемещения рабочего валков от отдельных электродвигателей.

Главный электродвигатель прокатного стана является двигателем специального (металлургического) типа с воздушным продувным охлаждением.

Важным фактором является качество поверхности полосы, применяют чугунные рабочие валки с высокой твердостью поверхности бочки. Наибольшее распространение получили двухслойные чугунные валки (твердость бочки до  $70\div 85$  и более единиц по Шору). Опорные валки изготавливают из стальных поковок (твердость по Шору  $30\div 50$  единиц), а за рубежом применяют и литые стальные опорные валки. В большинстве случаев стремятся применять для всех клетей одного стана полностью одинаковые опорные валки.

Рабочие валки клетей кварто, устанавливаются на четырехрядных подшипниках с коническими роликами, а опорные валки на подшипниках жидкостного трения.

Уравновешивание верхнего валка клетей кварто осуществляют гидроцилиндрами, смонтированными в подушки нижнего рабочего валка по два в каждой подушке. Плунжеры гидроцилиндров упираются в нижнее

основание подушек верхнего рабочего валка. Площадь плунжера принимают из расчета создания такого усилия четырех гидроцилиндров, которое не только бы обеспечивало подъем всех деталей верхнего рабочего валка, но также и подъем верхнего опорного валка в подшипниках для исключения зазора в системе рабочий валок – опорный валок.

Приведем несколько примеров конструкций клетей КВАРТО.

В работе [6] описана конструкция клетки 500/1400×1700, (рисунок 3.1.)

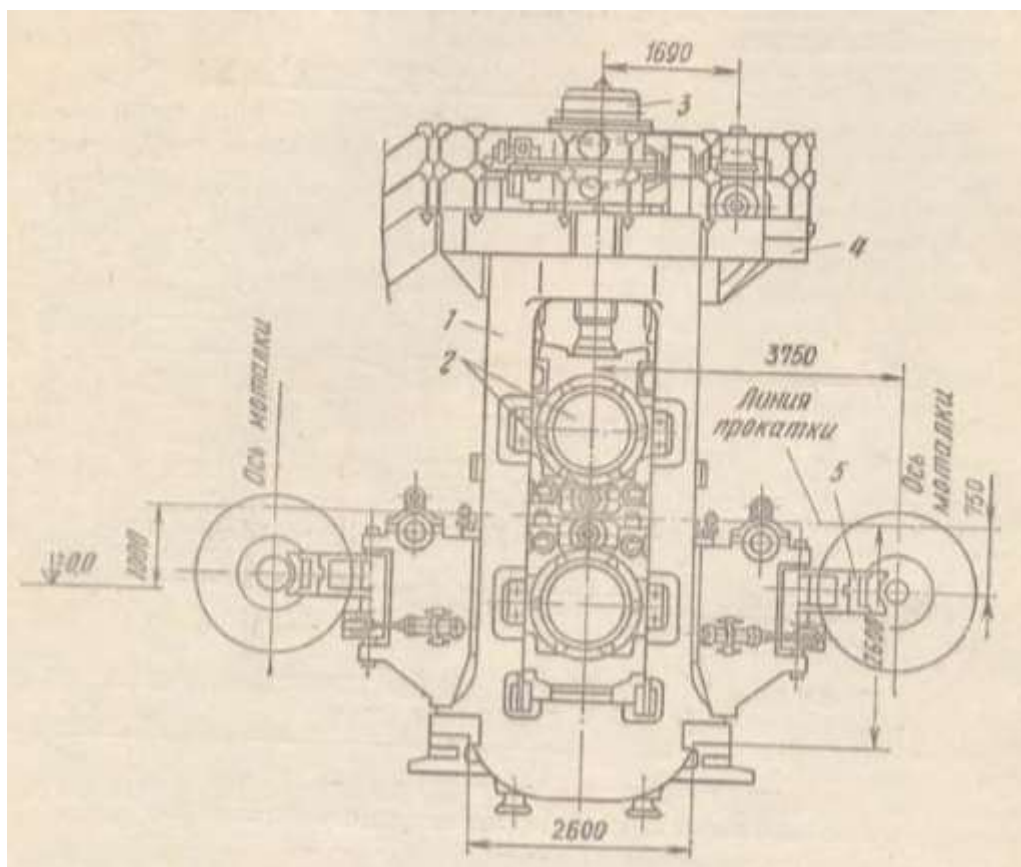


Рисунок 3.1 Четырехвалковая рабочая клеть реверсивного стана  
500/1400×1700

Рабочая клеть состоит из двух литых станин 1, соединенных между собой траверсами и установленных на плитовинах.

Рабочие валки вращаются в четырехрядных роликовых подшипниках, а опорные валки установлены на подшипниках жидкостного трения.

Уравновешивание верхнего опорного валка происходит за счет гидравлического цилиндра, установленного на верхней траверсе между станинами.

В работе [4] Представлена конструкция клетки КВАРТО 600/1400×1400, (рисунок 3.2).

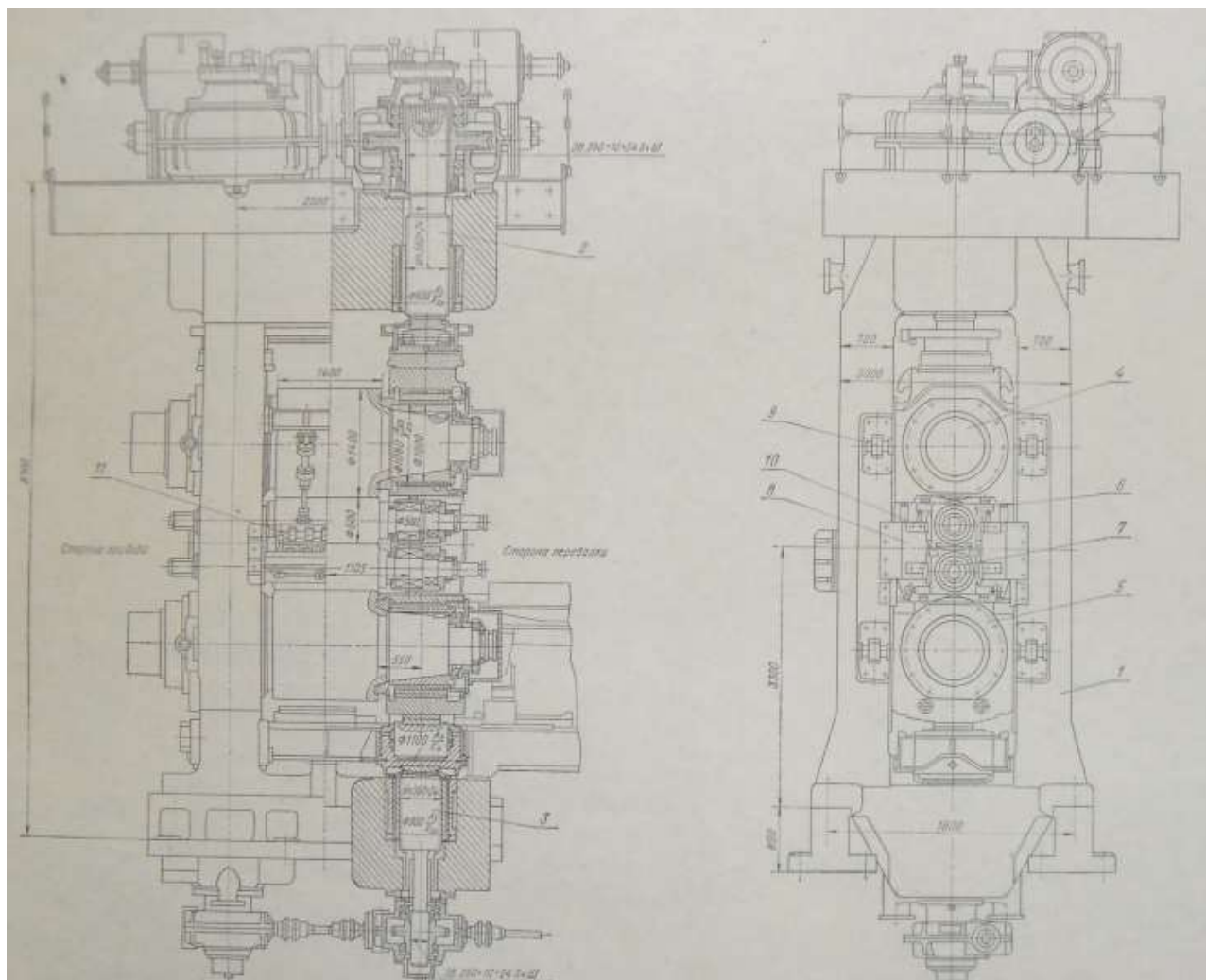


Рисунок 3.2 Четырехвалковая рабочая клетка стана 600/1400×1400

Рабочая клетка состоит из узла станины поз. 1, с установленным сверху механическим нажимным устройством. В окне станины установлены подушки верхних и нижних валков поз. 4 и поз. 5.

Подушки рабочих валков зафиксированы при помощи вставок-упоров поз. 8. Опорные валки с подушками закреплены при помощи гидрофиксаторов поз. 9.

Рабочие валки установлены на четырехрядных роликовых подшипниках, а опорных - на подшипнике жидкостного трения.

#### 4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ

Исходные данные:

Медь М1;

Толщина полуфабриката -  $h_0 = 50$  мм;

Ширина полуфабриката -  $b_0 = 400$  мм.

Толщина готового изделия -  $h_1 = 0,5$  мм;

Ширина готового изделия -  $b_1 = 400$  мм.

$R = 75$  мм;

$t = 800^\circ\text{C}$ ;

$v = 1,5$  м/с.

##### 4.1 Энергосиловые параметры прокатки

По методике [5] определим энергосиловые параметры прокатки в первом проходе для меди М1.

Определяем длину дуги контакта:

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h} \text{ мм}, \quad (7)$$

где  $\Delta h$  – абсолютное обжатие;

Зададим абсолютное обжатие:

$$\Delta h = 10 \text{ мм.}$$

Тогда

$$l = \sqrt{75 \cdot 10} = 27,39 \text{ мм.}$$

Средняя толщина:

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (h_0 + h_1) \text{ мм}, \quad (8)$$

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (50 + 0,5) = 25,25 \text{ мм.}$$

$$m = \frac{l}{h_{cp}}, \quad (9)$$

$$m = \frac{27,39}{25,25} = 1,085.$$

Показатель  $n_{\sigma}$  находится по следующим зависимостям:

Если  $m \geq 2$ , то

$$n_{\sigma} = 0,75 + 0,25 \cdot m \quad (10)$$

Если  $0,5 > m > 2$ , то

$$n_{\sigma} = 0,5 \cdot \left(m + \frac{1}{m}\right) \quad (11)$$

Поскольку  $m > 2$ , то

$$n_{\sigma} = 0,75 + 0,25 \cdot 8,48 = 34,67.$$

По формуле А. И. Целикова определим среднюю скорость деформации:

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l}, \quad \text{с}^{-1} \quad (12)$$

где степень деформации равна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}, \quad (13)$$

$$\varepsilon = \frac{1,5}{2} = 0,75;$$

$$u = \frac{1500 \cdot 0,75}{10,6} = 10,61 \quad \text{с}^{-1}.$$

Для меди М1:

$$\sigma = 52 \cdot \varepsilon^{0,4} \cdot u^{0,11} \cdot \exp(-0,0023 \cdot t) \quad \text{МПа}, \quad (14)$$

$$\sigma = 52 \cdot 0,75^{0,4} \cdot 10,61^{0,11} \cdot \exp(-0,0023 \cdot 800) = 117,67 \text{ МПа}.$$

Удельное усилие:

$$p = 1,15 \cdot \sigma \cdot n_{\sigma} \quad \text{МПа} \quad (15)$$

$$p = 1,15 \cdot 117,67 \cdot 34,67 = 490 \text{ МПа}.$$

Площадь контакта металла с валками:

$$F_k = b \cdot l \quad \text{мм}^2, \quad (16)$$

$$F_k = 450 \cdot 10,6 = 4770 \text{ мм}^2.$$

Полное усилие прокатки:

$$P = p \cdot F_r, \quad \text{кН} \quad (17)$$

где  $F_r$  - горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками;

$$F_r = \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_b}, \quad \text{мм}^2 \quad (18)$$

$$F_r = \frac{400}{2} \cdot \sqrt{(50-40) \cdot 75} = 5477,23 \text{ мм}^2;$$

$$P = 45,67 \cdot 5477,23 = 25,16 \text{ кН}.$$

Момент прокатки:

$$M = 2 \cdot P \cdot l \cdot \Psi \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (19)$$

где  $\Psi = 0,65 - 0,15\sqrt{m}$  (20)

$$\Psi = 0,65 - 0,15\sqrt{8,48} = 0,21.$$

$$M = 2 \cdot 508164,8 \cdot 0,0106 \cdot 0,21 = 2262,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коэффициент трения при прокатке:

$$f = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t), \quad (21)$$

где  $K_1$  - коэффициент, учитывающий состояние поверхности инструмента и его материал;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий влияние скорости прокатки;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий влияние хим состава, обтачиваемого материала.

$$f = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 800) = 0,52.$$

Окружная скорость рабочих валков:

$$v_o = \frac{\pi \cdot R_p \cdot n_e}{30}, \text{ с}^{-1} \quad (22)$$

$$v_o = \frac{3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,075}{30} = 3,18 \text{ с}^{-1}.$$

Угол захвата найдем по формуле:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D_p}. \quad (23)$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{10}{180} = 0,93.$$

$$\alpha \approx 0,37^\circ.$$

Для обеспечения “естественного” захвата металла при горячей прокатке необходимо соблюдать следующее условие:

$$\alpha < \mu_{mp}$$

$$\mu_{mp} = 0,27 \dots 0,37 \quad [3].$$

Коэффициент вытяжки:

Усилие на рабочем валке:

$$P_p = \frac{P}{40}, \text{кН} \quad (24)$$

$$P_p = \frac{250,16}{40} = 6,25 \text{кН.}$$

Аналогично рассчитаем параметры прокатки для бронзы БрА5 и латуни Л96.

Расчеты энергосиловых параметров 3-х сплавов по проходам сведем в таблицы 4.1, 4.2, 4.3.



Таблица 4.1 Параметры энергосилового расчета меди М1

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высота заготовки $b_0$ , мм	50,00	40,00	30,00	20,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,50	1,00
Ширина заготовки $b$ , мм	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Обжатие $\Delta h$ , мм	10,00	10,00	10,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Высота полосы на выходе $h_1$ , мм	40,00	30,00	20,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,50	1,00	0,50
Длина дуги контакта $l$ , мм	27,39	27,39	27,39	27,39	12,25	12,25	12,25	12,25	6,12	6,12	6,12
Средняя толщина $h_{cp}$ , мм	45,00	35,00	25,00	15,00	9,00	7,00	5,00	3,00	1,75	1,25	0,75
Коэффициент $m$	0,61	0,78	1,10	1,83	1,36	1,75	2,45	4,08	3,50	4,90	8,16
Соппротивление деформации $\sigma_6$	0,20	0,25	0,33	0,50	0,20	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50
Степень деформации $\varepsilon$	0,18	0,20	0,24	0,29	0,18	0,20	0,24	0,29	0,20	0,24	0,29
Соппротивление деформации $\sigma_s$ , МПа	35,29	39,06	44,52	53,54	35,29	39,06	44,52	53,54	39,06	44,52	53,54
Удельное усилие $p$ , МПа	45,67	46,73	56,09	112,41	55,22	78,59	69,75	124,41	72,98	113,91	187,26
Полное усилие прокатки $P$ , кН	250,16	255,94	307,19	615,72	135,27	192,50	170,86	304,75	89,39	139,50	229,34
Коэффициент трения при прокатке $f$	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Момент прокатки $M$ , Н·м	6778,45	6908,60	8214,92	15911,22	1631,78	2302,60	2002,13	3316,54	524,42	788,00	1142,79
$\cos \alpha$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00

Продолжение таблицы 4.1

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\alpha$	21,05	21,05	21,05	21,05	9,37	9,37	9,37	9,37	4,68	4,68	4,68
Коэффициент плеча	0,49	0,49	0,49	0,47	0,49	0,49	0,48	0,44	0,48	0,46	0,41
Окружная скорость вращения валков $v_0, c^{-1}$	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18
$\beta_1$	1,00	1,00	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
$\beta_2$	1,13	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\beta_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\Sigma\beta$	1,13	1,04	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
Коэффициент Лодэ $\beta$	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155
Вытяжка	1,25	1,33	1,50	2,00	1,25	1,33	1,50	2,00	1,33	1,50	2,00
Горизонтальная проекция $Fr$	5477,23	5477,23	5477,23	5477,23	2449,49	2449,49	2449,49	2449,49	1224,74	1224,74	1224,74
Давление на рабочий валок $Pp$	6,25	6,40	7,68	15,39	3,38	4,81	4,27	7,62	2,23	3,49	5,73
$\Sigma\beta$	21,83	22,35	27,09	57,22	11,12	15,84	14,05	25,10	7,33	11,43	18,80

Таблица 4.2 Параметры энергосилового расчета бронзы БрА5

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высота заготовки $b_0$ , мм	50	400	30	20	10	8	6	4	2	1,5	1
Ширина заготовки $b$ , мм	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Обжатие $\Delta h$ , мм	10,00	10,00	10,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Высота полосы на выходе $h_1$ , мм	40,00	30,00	20,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,50	1,00	0,50
Длина дуги контакта $l$ , мм	27,39	27,39	27,39	27,39	12,25	12,25	12,25	12,25	6,12	6,12	6,12
Средняя толщина $h_{cp}$ , мм	45,00	35,00	25,00	15,00	9,00	7,00	5,00	3,00	1,75	1,25	0,75
Коэффициент $m$	0,61	0,78	1,10	1,83	1,36	1,75	2,45	4,08	3,50	4,90	8,16
Сопrotивление деформации $\sigma_6$	0,20	0,25	0,33	0,50	0,20	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50
Степень деформации $\epsilon$	0,18	0,20	0,24	0,29	0,18	0,20	0,24	0,29	0,20	0,24	0,29
Сопrotивление деформации $\sigma_s$ , МПа	40,72	45,07	51,37	61,78	40,72	45,07	51,37	61,78	45,07	51,37	61,78
Удельное усилие $p$ , МПа	52,70	53,92	64,71	129,71	63,72	90,68	80,48	143,55	84,21	131,43	216,06
Полное усилие прокатки $P$ , кН	288,65	295,32	354,46	710,45	156,08	222,12	197,14	351,64	103,14	160,97	264,62
Коэффициент трения при прокатке $f$	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Момент прокатки $M$ , Н·м	7821,29	7971,47	9478,75	18359,10	1882,83	2656,84	2310,14	3826,78	605,10	909,23	1318,60

Продолжение таблицы 4.2

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cos $\alpha$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
$\alpha$	21,05	21,05	21,05	21,05	9,37	9,37	9,37	9,37	4,68	4,68	4,68
Коэффициент плеча	0,49	0,49	0,49	0,47	0,49	0,49	0,48	0,44	0,48	0,46	0,41
Окружная скорость вращения валков $v_0, c^{-1}$	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18
$b_1$	1,00	1,00	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
$b_2$	1,13	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$b_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\sum b$	1,13	1,04	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
Коэффициент Лодэ $\beta$	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155
Вытяжка	1,25	1,33	1,50	2,00	1,25	1,33	1,50	2,00	1,33	1,50	2,00
Горизонтальная проекция $Fr$	5477,23	5477,23	5477,23	5477,23	2449,49	2449,49	2449,49	2449,49	1224,74	1224,74	1224,74
Давление на рабочий валок $Pp$	7,22	7,38	8,86	17,76	3,90	5,55	4,93	8,79	2,58	4,02	6,62
$\sum b$	25,41	26,02	31,58	67,14	12,83	18,29	16,22	28,99	8,45	13,19	21,69

Таблица 4.3 Параметры энергосилового расчета латуни Л96

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высота заготовки $b_0$ , мм	50,00	40,00	30,00	20,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,50	1,00
Ширина заготовки $b$ , мм	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Обжатие $\Delta h$ , мм	10,00	10,00	10,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Высота полосы на выходе $h_1$ , мм	40,00	30,00	20,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,50	1,00	0,50
Длина дуги контакта $l$ , мм	27,39	27,39	27,39	27,39	12,25	12,25	12,25	12,25	6,12	6,12	6,12
Средняя толщина $h_{cp}$ , мм	45,00	35,00	25,00	15,00	9,00	7,00	5,00	3,00	1,75	1,25	0,75
Коэффициент $m$	0,61	0,78	1,10	1,83	1,36	1,75	2,45	4,08	3,50	4,90	8,16
Сопротивление деформации $\sigma_6$	0,20	0,25	0,33	0,50	0,20	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50
Степень деформации $\epsilon$	0,18	0,20	0,24	0,29	0,18	0,20	0,24	0,29	0,20	0,24	0,29
Сопротивление деформации $\sigma_s$ , МПа	47,50	52,58	59,93	72,07	47,50	52,58	59,93	72,07	52,58	59,93	72,07
Удельное усилие $p$ , МПа	61,48	62,90	75,50	151,33	74,34	105,79	93,90	167,48	98,25	153,33	252,07
Полное усилие прокатки $P$ , кН	336,76	344,54	413,53	828,86	182,09	259,14	230,00	410,24	120,33	187,79	308,73
Коэффициент трения при прокатке $f$	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Момент прокатки $M$ , Н·м	9124,84	9300,04	11058,54	21418,95	2196,63	3099,65	2695,17	4464,57	705,95	1060,77	1538,37

Продолжение таблицы 4.3

Параметры	№ прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cos $\alpha$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
$\alpha$	21,05	21,05	21,05	21,05	9,37	9,37	9,37	9,37	4,68	4,68	4,68
Коэффициент плеча	0,49	0,49	0,49	0,47	0,49	0,49	0,48	0,44	0,48	0,46	0,41
Окружная скорость вращения валков $v_0, c^{-1}$	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18
$\delta_1$	1,00	1,00	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
$\delta_2$	1,13	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\delta_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\sum \delta$	1,13	1,04	1,10	1,83	1,36	1,75	1,36	2,02	1,62	2,22	3,04
Коэффициент Лодэ $\beta$	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155	1,155
Вытяжка	1,25	1,33	1,50	2,00	1,25	1,33	1,50	2,00	1,33	1,50	2,00
Горизонтальная проекция $Fr$	5477,23	5477,23	5477,23	5477,23	2449,49	2449,49	2449,49	2449,49	1224,74	1224,74	1224,74
Давление на рабочий валок $Pp$	8,42	8,61	10,34	20,72	4,55	6,48	5,75	10,26	3,01	4,69	7,72
$\sum Pp$	29,98	30,70	37,32	79,94	14,98	21,36	18,94	33,85	9,86	15,39	25,31

## 4.2 Выбор электродвигателя

Статически момент, приведенные на валу электродвигателя:

$$M'_{cm} = \frac{M_g + M_{mpl}}{i_p \cdot \eta}, \text{Н} \cdot \text{м} \quad (25)$$

Где  $M_g$  - момент прокатки, согласно расчетам максимальный момент прокатки равен  $M_g^{max} = 21418,95 \text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$i_p$  - передаточное отношение редуктора;

$\eta$  - КПД, для редуктора  $\eta = 0,95 \dots 0,98$ .

$M_{тр1}$  - момент трения в подшипниках,

$$M_{mpl} = P \cdot \mu \cdot d_n \cdot \left( \frac{R_p}{R_{on}} \right), \text{Н} \cdot \text{м} \quad (26)$$

Выберем цилиндрический редуктор с передаточным отношением  $i = 31,5$ .

$$M_{mpl} = 828860 \cdot 0,005 \cdot 0,065 \cdot \left( \frac{0,15}{0,4} \right) = 101,02 \text{Н} \cdot \text{м} \cdot$$

$$M'_{cm} = \frac{21418,95 + 101,02}{4 \cdot 0,96} = 5604 \text{Н} \cdot \text{м}$$

Для определения мощности электродвигателя используем формулу:

$$P = \frac{M'_{cm} \cdot N}{9549} \quad (27)$$

$$P = \frac{5604 \cdot 760}{9549} = 446 \text{кВт}$$

Исходя из полученных данных, выберем асинхронный двигатель А4 450 УК-8МУ3.





Длина шейки валка:  $l_o=0,36$  м;

$l_p=0,09$  м.

Расстояние от оси опоры до бочки валка:  $c_o=0,21$  м;

$c_p=0,12$  м.

Реакции опор на шейки валков от усилия прокатки  $P$  равны:

$$R = \frac{P}{2} \text{ кН} \quad (28)$$

$$R_{A.o} = R_{B.o} = \frac{808138}{2} = 404069 \text{ Н};$$

$$R_{A.p} = R_{B.p} = \frac{20720}{2} = 10360 \text{ Н}.$$

Напряжение изгиба бочки рабочего валка определяют по формуле:

$$\sigma_p = \frac{M_{из.i}}{0,1 \cdot D_i^3}, \quad (29)$$

где  $M_{из}$  - изгибающий момент, действующий в рассматриваемом сечении, Н·м;

$$M_{из} = \frac{P}{4} \cdot \left( a - \frac{b_o}{2} \right). \quad (30)$$

$$M_{из.o} = \frac{20720}{4} \cdot \left( 0,64 - \frac{0,4}{2} \right) = 2279,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\sigma_p = \frac{2279,2}{0,1 \cdot 0,15^3} = 6,75 \text{ МПа}.$$

Шейку опорного валка рассчитаем на изгиб и кручение по формулам:

$$\sigma_{ui} = \frac{P_i \cdot l_i}{0,4 \cdot D_{iu}^3}, \quad (31)$$

$$\tau_{ui} = \frac{M_{кр.и}}{0,2 \cdot D_{iu}^3}. \quad (32)$$

Результирующее напряжение определяют по 4-ой теории прочности:

$$\sigma_{пезi} = \sqrt{\sigma_{ui}^2 + 3 \cdot \tau_{ui}^2}. \quad (33)$$

Результирующее напряжение должно удовлетворять требованию:

$$\sigma_{пез} < [\sigma] \quad (34)$$

$$\sigma_{пез.o} = 30,99 \text{ МПа}.$$

В качестве материала опорных валков выберем Сталь 9Х:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{5}, \quad (35)$$

$$[\sigma] = \frac{530}{5} = 106 \text{ МПа.}$$

В качестве материала рабочих валков выберем чугун СЧХН-60:

$$[\sigma] = \frac{350}{5} = 70 \text{ МПа.}$$

Согласно проверочному расчету условие  $\sigma_{рез} < [\sigma]$  выполнено и для рабочего и для опорного валка.

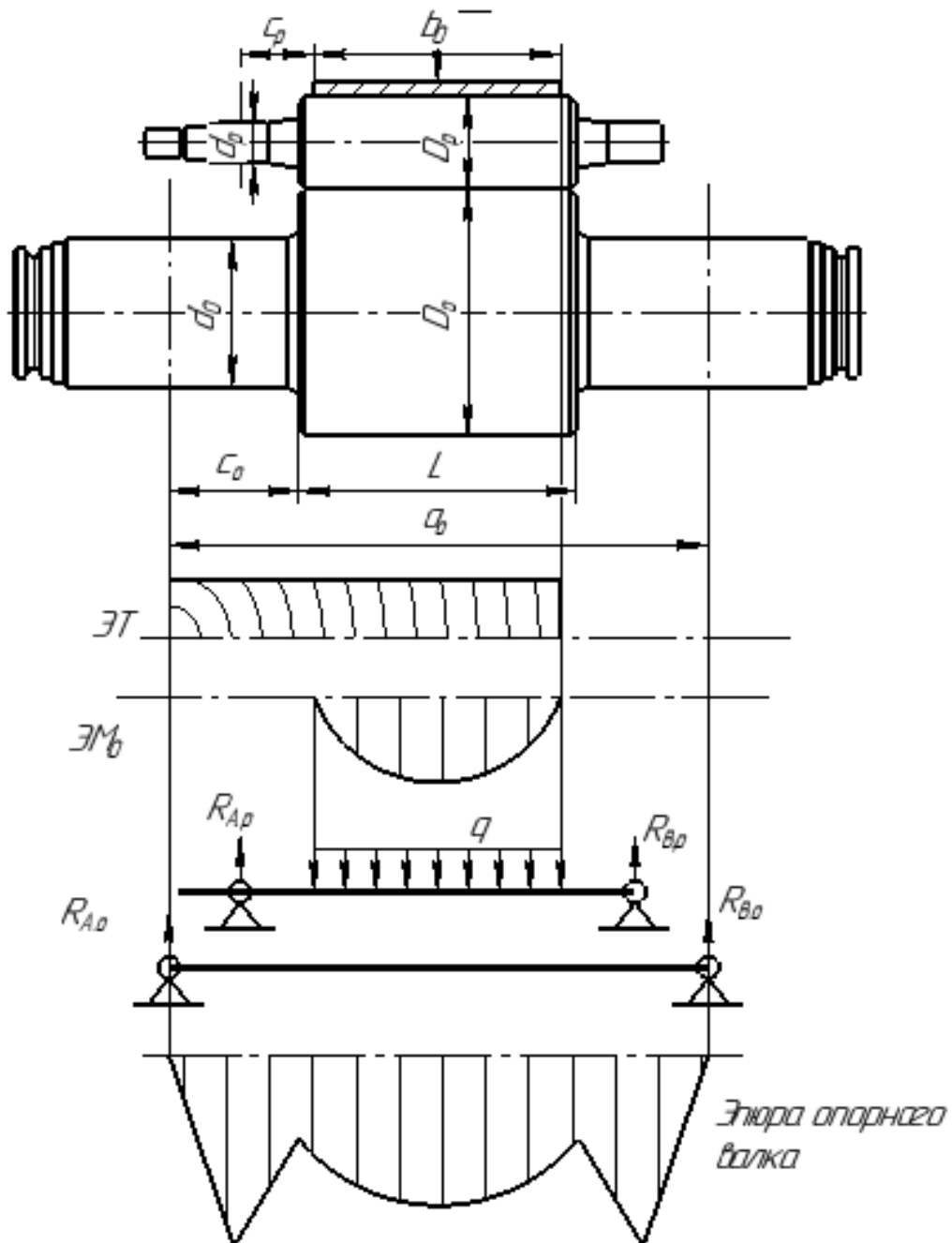


Рисунок 5.1.2 Схема действия нагрузок

## 5.2 Расчет приводной части вала

Напряжение смятия среза найдем по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{4,4 \cdot M_{кр}}{h \cdot l \cdot d} \leq [\sigma] \text{ МПа} \quad (36)$$

$$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{b \cdot l \cdot d} \leq [\tau] \text{ МПа} \quad (37)$$

где  $l$  - рабочая длина,  $l=60$  мм.

$h$ - высота паза,  $h=5$  мм.

$b$  - ширина паза,  $b=10$  мм.

Примем  $[\sigma]=120 \text{ МПа}$ ,  $[\tau]=50 \text{ МПа}$ .

$$\sigma_{см} = \frac{4,4 \cdot 2279,2}{0,005 \cdot 0,060 \cdot 0,045} = 114,29 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 120 \text{ МПа}.$$

$$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot 2279,2}{0,01 \cdot 0,06 \cdot 0,045} = 25,97 \text{ МПа} \leq [\tau] = 50 \text{ МПа}.$$

Условия выполняются.

## 5.3 Расчет на долговечность подшипников прокатных валков

Расчет ведем по методике [7].

На опорном валке установлен подшипник (рисунок 5.2.1) роликовый, радиально-упорный, конический, четырехрядный.

Максимальную нагрузку примем равной максимальной реакции опоры  $Rb_3$ .

Исходные данные:

Внутренний диаметр – 240 мм;

Наружный диаметр – 360 мм;

Ширина – 310 мм;

Количество роликов — 108 шт.;

Грузоподъемность динамическая — 3110 кН;

Грузоподъемность статическая — 5853 кН;

Номинальная долговечность подшипника определяется по формулам:

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^p, \quad (38)$$

где  $p$  - показатель степени, для роликового подшипника  $p = \frac{10}{3}$ ;

$P$  - эквивалентная динамическая нагрузка, Н.

Эквивалентная динамическая нагрузка для роликовых подшипников находится по формуле:

$$P_r = R_r \cdot K_T \cdot K_\sigma, \quad (39)$$

где  $K_T$  - температурный коэффициент,  $K_T=1,25$ ;

$K_\sigma$  - динамический коэффициент,  $K_\sigma=1,5$ .

$$P_r = 404069 \cdot 1,25 \cdot 1,5 = 757629 \text{ Н.}$$

$$L = \left( \frac{3110000}{757629} \right)^{\frac{10}{3}} = 110,75 \text{ млн.об.}$$

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}, \quad (40)$$

где  $n$  - максимальная частота вращения вала;

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}, \quad (41)$$

где  $\omega$  - угловая частота вращения вала;

$$\omega = \frac{2 \cdot V}{D_1}. \quad (42)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 1,5}{0,4} = 7,5 \text{ с}^{-1}.$$

$$n = \frac{30 \cdot 7,5}{\pi} = 71,62 \text{ об/мин.}$$

$$L_h = \frac{110,75 \cdot 10^6}{60 \cdot 71,62} = 25772,6 \text{ \ часа.}$$

Исходные данные:

Внутренний диаметр – 65 мм;

Наружный диаметр – 120 мм;

Ширина – 75 мм;

Грузоподъемность динамическая — 1550 кН;

Грузоподъемность статическая — 2453 кН;

По формулам (38) - (42) найдем.

Эквивалентная динамическая нагрузка:

$$P_r = 10360 \cdot 1,25 \cdot 1,5 = 19425 \text{ Н.}$$

Номинальная долговечность подшипника:

$$L = \left( \frac{1550000}{19425} \right)^{\frac{10}{3}} = 2187269 \text{ млн.об.}$$

Угловая частота вращения вала:

$$\omega = \frac{2 \cdot 1,5}{0,15} = 20 \text{ с}^{-1}.$$

Максимальная частота вращения:

$$n = \frac{30 \cdot 20}{\pi} = 190,98 \text{ об/мин.}$$

Номинальная долговечность подшипника:

$$L_h = \frac{2187269 \cdot 10^6}{60 \cdot 190,98} = 32635921,74 \text{ часа.}$$

#### 5.4 Расчет гидравлического нажимного устройства

Усилие на опору найдем по формуле:

$$P_{o.n} = \frac{P_{np}^{max}}{2}, \text{кН} \quad (43)$$

Где  $P_{np}^{max}$  - максимальное усилие, возникающее при прокатке, кН.

$$P_{o.n} = \frac{828,86}{2} = 414,43 \text{ кН.}$$

При установке 2х нажимных устройств усилие на один цилиндр будет равно:

$$P_{y1} = P \frac{l_1}{l_2} \text{кН} \quad (44)$$

где  $l_1$  - расстояние от оси прокатки до оси подушки;

$l_2$  - расстояние от оси цилиндра до оси прокатки.

$$P_{y1} = 414,43 \cdot \frac{0,438}{0,334} = 543,47 \text{ кН.}$$

При диаметре поршня  $d=135$  мм найдем давление в гидроцилиндре:

$$p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \geq 733 \text{ кН} \quad (45)$$

$$p = \frac{733 \cdot 10^3 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,135^2} = 6,68 \text{ МПа.}$$

В прокатном производстве как правило применяют гидравлические механизмы с максимальным давлением 32 МПа.

Определим эквивалентное напряжение в цилиндре:

$$\sigma_{\text{эквIII}} = p \cdot \left( \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + 1 \right) \text{ МПа} \quad (46)$$

где  $r_1$  - внутренний диаметр цилиндра.  $r_1=80$  мм.

$r_2$  - наружный радиус цилиндра.  $r_2=105$  мм.

$$\sigma_{\text{эквIII}} = 32 \cdot \left( \frac{80^2 + 105^2}{105^2 - 80^2} + 1 \right) = 152,56 \text{ МПа.}$$

Условие прочности:

$$\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma] \quad (47)$$

В качестве материала цилиндра выберем сталь 40ХН, тогда:

$$[n] = \frac{\sigma_m}{3};$$

$$[n] = \frac{750}{3} = 250 \text{ МПа};$$

$$152,56 = \sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma] = 250.$$

Условие прочности выполнено.

## 5.5 Расчет станины на прочность и жесткость

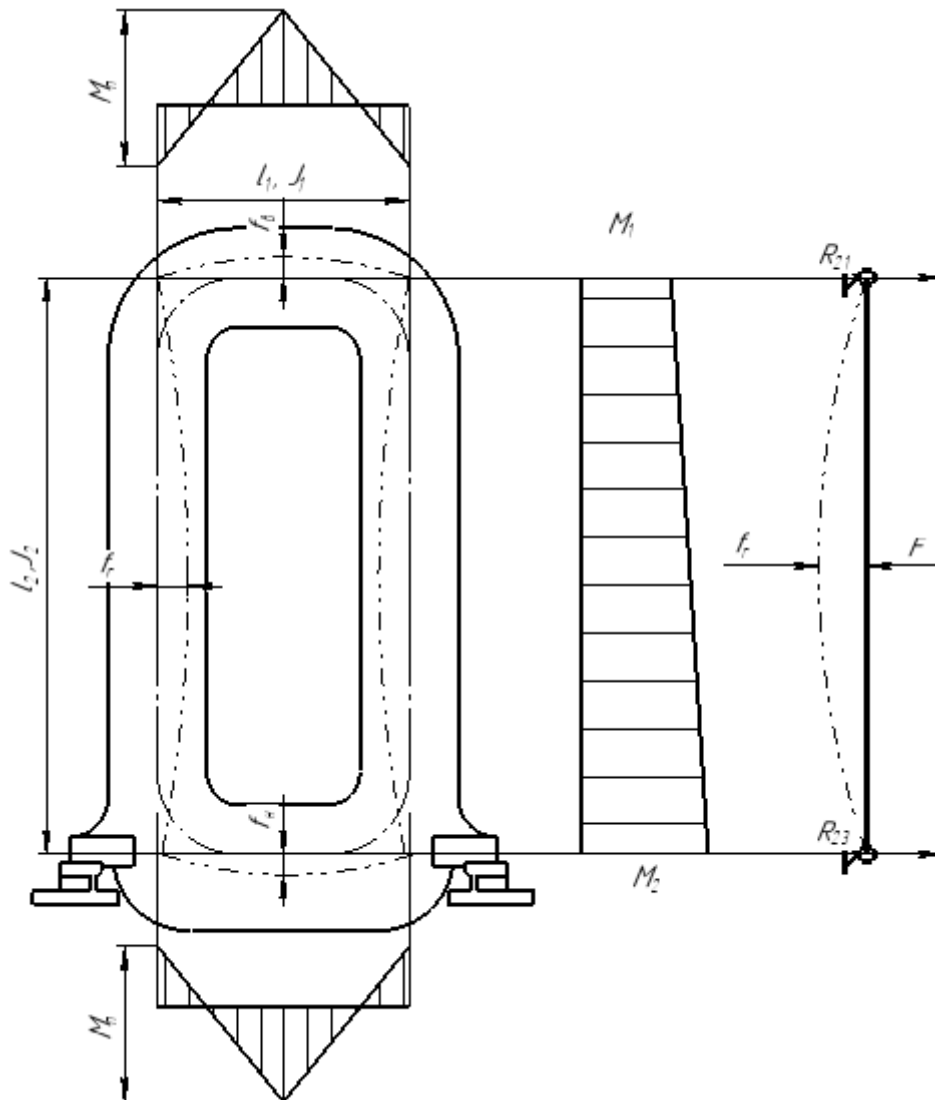


Рисунок 5.5 К расчету станины

На верхнюю поперечину станины действует сила:

$$Y = \frac{P_{\max}}{2}, \text{кН} \quad (48)$$

где  $P_{\max}$  - максимальное усилие прокатки,  $P_{\max}=828,86\text{кН}$ .

$$Y = \frac{828,86}{2} = 414,43 \text{кН}.$$

Напряжение растяжения в любом сечении по высоте стоки находится по формуле:

$$\sigma_{cm} = \frac{Y/2}{F_2}, \text{ МПа} \quad (49)$$

где  $F_2$  - площадь сечения стойки,  $F_2 = 0,0403 \text{ м}^2$ .

$$\sigma_{cm} = \frac{414430 / 2}{0,0403} = 5,14 \text{ МПа.}$$

Максимальный момент изгиба верхней и нижней поперечин:

$$M_n = \frac{Y \cdot l_1}{4}, \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (50)$$

$$M_n = \frac{414430 \cdot 1,810}{4} = 0,18 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Статически неопределимые моменты в углах рамы:

$$M_1 = \frac{M_n}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(3n+m)m}{3n+(2-n)m}} \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (51)$$

$$M_3 = \frac{M_n}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(3+m)m}{3n+(2n-1)m}} \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (52)$$

где 
$$n = \frac{J_1}{J_2}; \quad (53)$$

$$m = \frac{J_1}{J_2} \cdot \frac{l_2}{l_1}; \quad (54)$$

где  $J_1, J_2$  - момент инерции сечения верхней поперечины и стойки;

$l_1, l_2$  - длина поперечины и стойки.

$$n = \frac{0,15}{0,12} = \frac{5}{4} = 1,25;$$

$$m = \frac{0,15}{0,12} \cdot \frac{1,810}{0,79} = 2,86;$$

$$M_1 = \frac{0,18}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(3 \cdot 1,25 + 2,86) \cdot 2,86}{3 \cdot 1,25 + (2 - 1,25) \cdot 2,86}} = 0,028 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

$$M_3 = \frac{0,18}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(3 + 2,86) \cdot 2,86}{3 \cdot 1,25 + (2 \cdot 1,25 - 1) \cdot 2,86}} = 0,029 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

$$M_1 \approx M_2.$$

При  $J_1 = J_2$  и  $n = 1$  получим:

$$M_0 = M_1 = M_3 = \frac{M_n}{2} \cdot \frac{n}{n+m} \quad (55)$$



$$M_0 = M_1 = M_3 = \frac{0,18}{2} \cdot \frac{1,25}{1,25 + 2,86} = 0,027 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Напряжение растяжения в середине верхней и нижней поперечин находятся по формулам:

$$\sigma_n = \frac{M_n - M_1}{J_1} \text{ МПа} \quad (56)$$

$$\sigma_n = \frac{M_n - M_2}{J_2} \text{ МПа} \quad (57)$$

$$\sigma_n = \frac{0,18 - 0,028}{0,15} = 1,02 \text{ МПа};$$

$$\sigma_n = \frac{0,18 - 0,029}{0,12} = 1,26 \text{ МПа.}$$

Рассчитаем напряжение растяжение на стоке станины:

$$\sigma_{\max} = \frac{Y}{2 \cdot F_2} + \frac{M_1 + M_2}{2 \cdot J_2} \text{ МПа} \quad (58)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{414430}{2 \cdot 0,0403} + \frac{0,029 + 0,028}{2 \cdot 0,12} = 5,38 \text{ МПа.}$$

Запас прочности станины для нижней поперечины при пределе прочности углеродистой стали:

$$n = \frac{600}{44,1} = 13,5.$$

Прогиб среднего сечения от изгиба и действия поперечин:

$$f_e = \frac{l_1^2}{8 \cdot E \cdot J_1} \cdot \left( \frac{Y \cdot l_1}{6} - M_1 \right) \text{ мм} \quad (59)$$

$$f_n = \frac{l_1^2}{8 \cdot E \cdot J_2} \cdot \left( \frac{Y \cdot l_1}{6} - M_3 \right) \text{ мм} \quad (60)$$

$$f_e = \frac{0,79^2}{8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,15} \cdot \left( \frac{414430 \cdot 0,79}{6} - 0,028 \right) = 1,51 \text{ мм};$$

$$f_n = \frac{0,79}{8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,12} \cdot \left( \frac{414430 \cdot 0,79}{6} - 0,029 \right) = 0,22 \text{ мм.}$$

Упругое растяжение стоки станины:

$$f_2 = \frac{Y \cdot G}{2 \cdot E \cdot F_2} \text{ мм} \quad (61)$$

$$f_2 = \frac{414430 \cdot 0,75 \cdot 10^5}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,0403} = 1,9 \text{ мм.}$$

Суммарные деформации станины по вертикали:

$$f_{cm} = f_s + f_n + f_2, \text{ мм} \quad (62)$$

$$f_{cm} = 3,63 \text{ мм.}$$

Жесткость станины:

$$C = \frac{Y}{f_{cm}} \text{ МН/мм} \quad (63)$$

$$C = \frac{414430}{3,63} = 0,11 \text{ МН/мм.}$$

## 6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ КЛЕТИ

Конструкция разработанной клетки представлена на рисунке 6.1.

Рабочий валок поз. 1 клетки установлен на четырехрядных роликовых подшипниках зафиксированный с не приводной стороны при помощи концевой шайбы поз. 2, крышек поз. 3 и распорных втулок поз.4, а с приводной стороны - при помощи круглой гайки и крышек.

Опорный валок поз. 5 установлен в аналогичных четырехрядных подшипниках зафиксированных при помощи круглых гаек поз. 6 и крышек поз. 7 с распорными втулками поз. 8. На конце валка предусмотрены выступы для перевалки. Валки зафиксированы в станине при помощи приборов поз. 9.

Для изменения зазора между валками на станине сверху установлено гидравлическое нажимное устройство поз. 10. Установка опорных валков на роликовые подшипники позволит упростить конструкцию, сборку и обслуживание подшипникового узла.

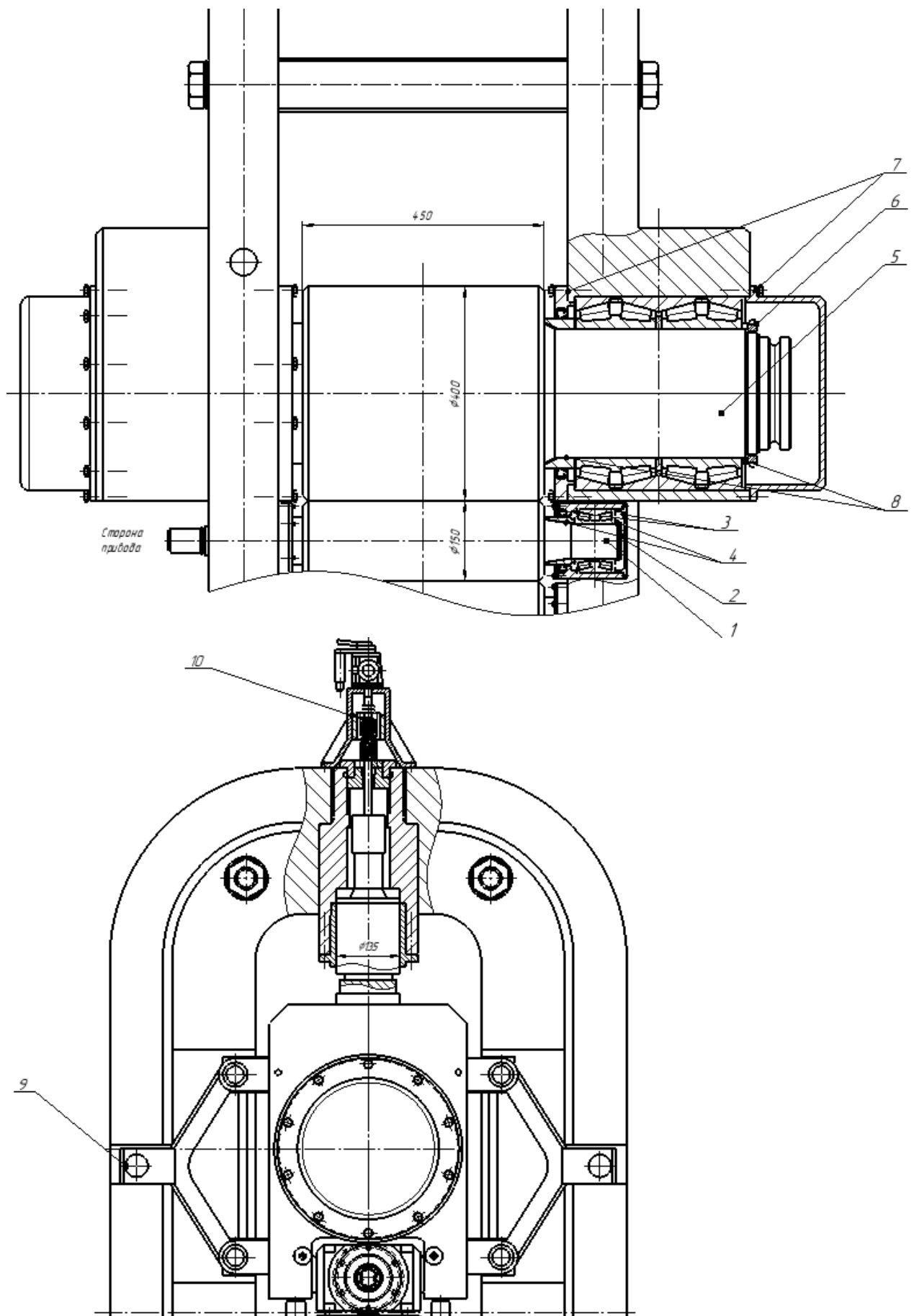


Рисунок 6.1 Клеть КВАРТО 150/400×450

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проанализированы заводы РФ по производству полосы из меди и ее сплавов, рассмотрены их технологические линии. Изучены конструкции станов горячей прокатки КВАРТО.

На основе полученных в задании параметров готовой полосы и рассмотренных конструкций клетей, была предложена конструкция реверсивного стана горячей прокатки КВАРТО 150/400×450.

Рассчитаны энергосиловые параметры прокатки трех различных сплавов меди. На основе данного расчета был сделан вывод, что наибольшее усилие  $P=828,86$  кН прокатки потребуется при производстве полосы из латуни Л96.

Произведены проверочные расчеты:

1. Валков на прочность и изгиб;
2. Проводной конец вала на смятие и срез;
3. Подшипников на долговечность;
4. Давления гидравлического нажимного устройства;
5. Станины на жесткость и прочность.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ООО «УГМК-Холдинг» – Режим доступа: <https://www.ugmk.com>.
2. Широкосортаментная прокатка профилей из медных сплавов на полунепрерывном стане/Л.М . Железняк, В.И. Свинин, В.С. Токарь, Б.Е. Хайкин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1995. 154 с.
3. ООО «Гайский завод по обработке цветных металлов» – Режим доступа: <https://www.gzocm.ru/>.
4. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М: Metallurgia, 1985. - 376 с.
5. Дубинский, Ф. С. Энергосиловые параметры процессов прокатки в станах сортового передела: учебное пособие / Ф. С. Дубинский [и др.] – Челябинск: издво ЮУрГУ, 2001. – 30 с.
6. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов, 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1988. 680 с.;
7. Перель, Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор: справочник/ Л.Я. Перель. – М.: «Машиностроение», 1983. – 543 с.