

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»  
Кафедра «Процессы и машины обработки металлов давлением»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой, степень, звание

/В.Г. Шеркунов, д.т.н., проф./

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тема работы: «Разработка технологического процесса прокатки крупносортовой стали в условиях прокатного цеха №2 ПАО «ЧМК»»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**ЮУрГУ–22.03.02.2017.00000.ВКР**

**Руководитель**

В.И. Крайнов / \_\_\_\_\_ /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Автор**

студент группы П-438

А.В. Идиятов/ \_\_\_\_\_ /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Челябинск 2017**

## Аннотация

Идиятов Р.Ф. Разработка технологического процесса прокатки крупносортовой стали в условиях прокатного цеха №1 ПАО «ЧМК».  
– Челябинск: ЮУрГУ, П-438, 58 с., 16 ил., 13 табл., библиогр. список – 9 наим.

Данная выпускная квалификационная работа выполнена с целью разработки технологического процесса прокатки крупносортовой стали в условиях прокатного цеха №1 ПАО «ЧМК».

В данной выпускной квалификационной работе изучены современные тенденции в развитии крупносортового прокатного производства, рассмотрен сортамент крупносортовой стали, а также типы станов, используемых для его производства, выбрана технологическая схема производства от жидкого металла до готовой продукции, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 780 ПАО «ЧМК».

Произведены расчеты калибровки валков для прокатки  $\varnothing 75$  мм, энергосиловых параметров процесса прокатки, наиболее нагруженного валка на прочность, технико-экономических показателей работы крупносортовых станов.

Проанализировано обеспечение безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды в условиях стана 780.

## Оглавление

Введение.....	6
1 Краткий обзор процесса прокатки крупносортовой стали .....	7
1.1 Современные тенденции в развитии прокатного производства.....	7
1.2 Классификация прокатных станов.....	11
1.3 Сортамент крупносортовой стали .....	15
1.4 Основные технологические операции на стане 780 Челябинского металлургического комбината.....	17
1.5 Анализ технологического процесса на стане и разработка предложений по его реконструкции .....	23
2 Расчеты основных показателей процесса прокатки .....	31
2.1 Калибры для прокатки заданного профиля .....	31
2.2 Режимы обжатий и формоизменение металла .....	32
2.3 Энергосиловые параметры процесса прокатки.....	36
2.4 Расчет валка на прочность.....	39
2.5 Техничко-экономические показатели.....	42
3 Охрана труда и экология в цехе.....	48
3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	48
3.2 Техника безопасности .....	50
3.2.1 Безопасность техпроцессов .....	50
3.2.2 Безопасность производственного оборудования .....	51
3.2.3 Электробезопасность .....	51
3.2.4 Пожаровзрывобезопасность.....	52
3.2.5 Освещение.....	53
3.2.6 Микроклимат .....	54
3.2.7 Защита от тепловых излучений .....	55
3.3 Охрана окружающей среды.....	56
Заключение .....	58

## Введение

В условиях постоянно возрастающих требований к качеству металлопродукции, расширения сортамента проката, а также высоких темпов развития прокатного производства, оснащение предприятий современным прокатным оборудованием, создание новых и усовершенствование существующих технологических процессов позволит обеспечить более высокий уровень качества проката и эффективность его производства.

В связи с этим, целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса прокатки крупносортной стали в условиях прокатного цеха №1 ПАО «ЧМК» из литой заготовки.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить современные тенденции в развитии крупносортного прокатного производства;
- рассмотреть сортамент крупносортной стали, а также типы станов, используемых для его производства;
- выбрать технологическую схему производства от жидкого металла до готовой продукции;
- описать и проанализировать технологический процесс и оборудование прокатки на стане 780 ПАО «ЧМК», а также разработать предложения по его реконструкции;
- произвести расчеты калибровки валков для прокатки  $\varnothing 75$  мм, энергосиловых параметров процесса прокатки, наиболее нагруженного валка на прочность, а также технико-экономических показателей работы крупносортного стана 780;
- проанализировать обеспечение безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды в условиях стана 780.

## 1 Краткий обзор процесса прокатки крупносортовой стали

### 1.1 Современные тенденции в развитии прокатного производства

Современное развитие прокатного производства характеризуется строительством новых высокопроизводительных станов с клетями повышенной жесткости. Мощность сортовых прокатных станов достигает 0,8-1,6 млн т, проволочных 0,8-1 млн т проката в год.

Новые крупные прокатные станы дают повышение производительности на 1 т массы оборудования в 1,5-2 раза, снижение капитальных затрат на 1 т мощности до 2 раз, снижение расхода металла на каждой тонне на 3-7 %. Создание высокопроизводительного оборудования позволяет повысить скорости прокатки на сортовых станах до 20-30 м/с, на проволочных до 50-70 м/с. Постоянное расширение масштабов производства на станах современных конструкций позволило довести долю проката, получаемого на этих станах, примерно до 80 %.

Большое влияние на расход стали в прокатном производстве оказывает расширение масштабов производства на современных станах. На станах современного типа удельный расход металла на 25-206 кг/т (2,3-16,3 %) ниже, чем на аналогичных станах литейного типа.

Экономически целесообразной является также широкая замена морально устаревших станов, так как снижается удельный расход стали на единицу продукции. Удельный расход металла на станах современных и устаревших составляет: на крупносортовых – 1065,9 кг/т и 1102,8; на среднесортовых – 1042,2 и 1067,7; на мелкосортовых – 1046,8 и 1081,2 кг/т. Удельные потери металла в брак на современных станах в среднем на 7-38 % ниже потерь получаемых на станах с устаревшим оборудованием.

Для организации рационального раскроя сортового проката успешно применяют современные счетно-решающие устройства непрерывного действия на базе вычислительных машин. Эффективность внедрения системы безостаточного

раскря раскатов обеспечивает экономию металла по заготовочным станам 0,5-1 %; по среднесортным 0,5-0,8 %; по мелкосортным 0,35-0,6 % к годовой их производительности.

Большое внимание в последние годы уделяется совершенствованию оборудования для прокатки сортового проката за рубежом, что является следствием возрастания требований к таким видам проката, как широкополочные балки, средне- и мелкосортный прокат. На современных, зарубежных среднесортных станах механизированы и автоматизированы все технологические процессы, начиная от нагрева заготовок и кончая отгрузкой готовой продукции. Предусматривается создание единой поточной линии прокатки и отделки при строительстве новых и реконструкции устаревших станов. Современные мелкосортные станы являются высокопроизводительными агрегатами, характеризующимися высокой степенью автоматизации. На станах производится прокатка с жесткими допусками.

Часто на современных станах используются бесстанинные клетки или клетки кассетного типа, например клетки CCS (Compact Cartridge Stand) фирмы SMSMeer, изображенные на рисунке 1. По сравнению с классическими клетями с закрытой станиной, эти клетки имеют компактную конструкцию, устройство автоматической смены валков и направляющих, а также систему точной регулировки валков, и выдают конечный продукт с соблюдением самых жестких допусков. Замена валков в такой клетке не превышает 20 мин.



Рисунок 1 – Блок клетей CCS

Если говорить о прокатном производстве в целом, можно выделить следующие основные тенденции развития оборудования и технологии:

- использование заготовки максимально приближенной по форме и размерам к готовому прокату;
- использование конструкций клетей, которые обеспечивают максимально быструю замену валков (10-20 мин);
- применение полной автоматизации прокатного стана с контролем всех параметров, влияющих на процесс (особенно температуры), и управление станом на основе компьютерных моделей процесса;
- применение технологий термомеханической обработки с целью получения необходимых прочностных свойств без дальнейшей термообработки;
- использование различных систем, которые повышают точность размеров и геометрической формы раската;
- внедрение принципов бесконечной прокатки, переход на строительство литейно-прокатных агрегатов;

- максимальное внедрение энергосберегающих технологий и сокращение операционных расходов;
- применение универсальных «единых» калибровок, системы калибров которых позволяют прокатывать различные профили по одной калибровке в черновых и промежуточных группах, с минимальной перенастройкой клетей.



## 1.2 Классификация прокатных станов

Все прокатные станы, работающие на металлургических предприятиях, несмотря на многообразие конструкций, классифицируются по количеству и расположению рабочих клеток на следующие пять групп: одноклетевые, линейные многоклетевые, последовательные, полунепрерывные и непрерывные [7].

Схема расположения рабочих клеток прокатных станов изображена на рисунке 2.

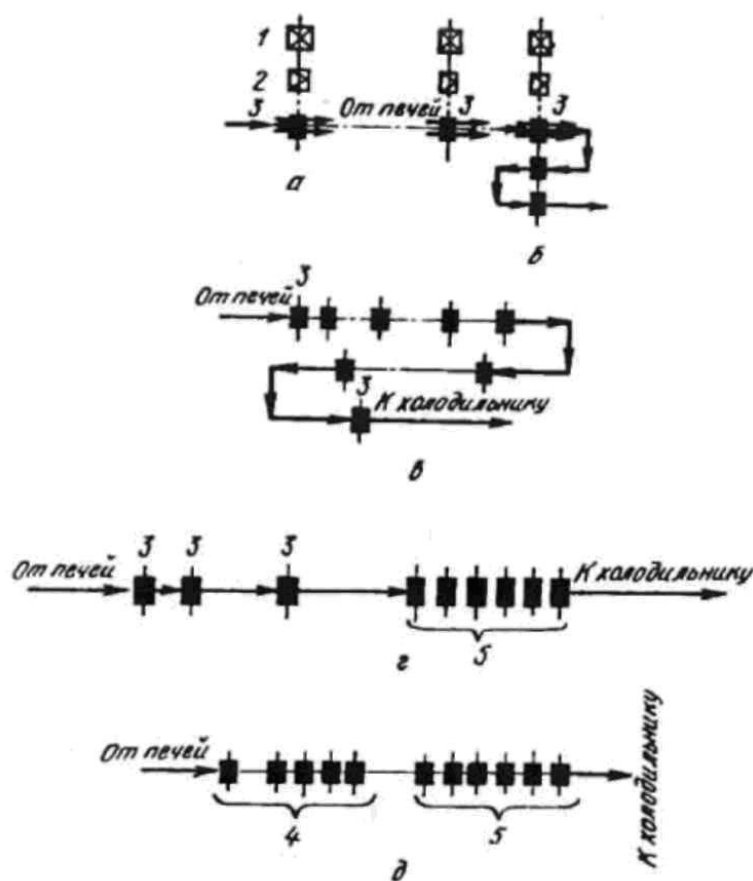


Рисунок 2 – Схема расположения рабочих клеток прокатных станов: а – одноклетевый; б – линейный многоклетевый в две линии; в – последовательный; г – полунепрерывный; д – непрерывный:

1 – двигатель; 2 – шестеренная клеть; 3 – рабочие клетки; 4 – непрерывная черновая группа; 5 – непрерывная чистовая группа

Одноклетевые станы являются простейшим типом прокатного стана. В состав оборудования стана входят одна рабочая клетка и линия привода рабочих валков, которая состоит из шпинделей, шестеренной клетки, редуктора, муфт и главного электродвигателя. Входящее в линию привода валков оборудование в основном повторяется на прокатных станах с более сложным расположением рабочих клеток. К станам этой группы относятся станы для производства полупродукта (блюминги, слябинги, заготовочные) и готового проката (станы горячей и холодной прокатки).

Наиболее простыми являются линейные многоклетевые прокатные станы, на которых рабочие клетки расположены в одну или более линий. При этом каждая линия приводится от одного электродвигателя. Одноклетевые станы могут быть реверсивными, когда рабочие валки могут попеременно вращаться в одну и другую сторону, или нереверсивными – рабочие валки вращаются только в одну сторону. Линейные многоклетевые станы используют главным образом как заготовочные, сортовые, рельсобалочные, проволочные и листовые.

Последовательные станы характеризуются расположением рабочих клеток, стоящих друг за другом таким образом, что прокатываемая полоса проходит в каждой клетке один раз. Поэтому число клеток такого стана должно быть равно максимальному числу проходов, необходимых для получения готового профиля. На последовательных станах рабочие клетки обычно размещают в несколько параллельных рядов с тем, чтобы сократить длину цеха и лучше использовать его площади. Причем на таких станах расстояние от клетки к клетке в направлении прокатки увеличивается соответственно увеличению длины прокатываемой полосы. Увеличивается и частота вращения валков. К последовательным станам относятся станы с рабочими клетками, расположенными в шахматном порядке. Последовательные станы используют в основном как сортовые.

Полунепрерывные станы состоят из двух групп рабочих клеток: непрерывной и линейной, или последовательной. В непрерывной группе клеток прокатываемая полоса может находиться одновременно в двух, трех и более

клетях, т.е. прокатываться непрерывно. А во второй группе полоса прокатывается или на линейном, или на последовательном стане. Полунепрерывные станы используются как сортовые, проволочные и полосовые.

Наиболее современными станами являются непрерывные станы. По сравнению с другими типами станов непрерывные характеризуются более высокими скоростями прокатки. При этом привод валков рабочих клеток может быть как индивидуальный, так и групповой. Непрерывные станы характеризуются наибольшей производительностью по сравнению с другими типами станов. Эти станы используют в качестве заготовочных, широкополосных, средне- и мелкосортных, проволочных и др.

По расположению и количеству валков в рабочих клетях и их конструкции прокатные станы делятся на несколько групп: двух-, трех-, четырех- и многовалковые, универсальные специальной конструкции, при этом крупносортные станы – только на двух- (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан).

Схема расположения валков в рабочих клетях изображена на рисунке 3.

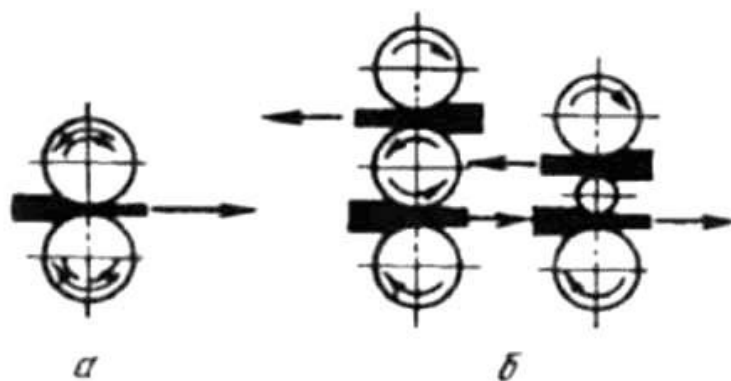


Рисунок 3 – Схема расположения валков в рабочих клетях:

а – двухвалковая клетка; б – трехвалковая сортовая и листовая

Двухвалковые клетки наиболее распространены и бывают реверсивные и нереверсивные.

В реверсивных клетях валки имеют переменное направление вращения. Прокатываемый металл проходит между валками вперед и назад нужное количество раз, а валки соответственно изменяют направление вращения,

реверсируются. Реверсивные двухвалковые клетки применяют в обжимных, толстолистовых, сортовых и листовых станах.

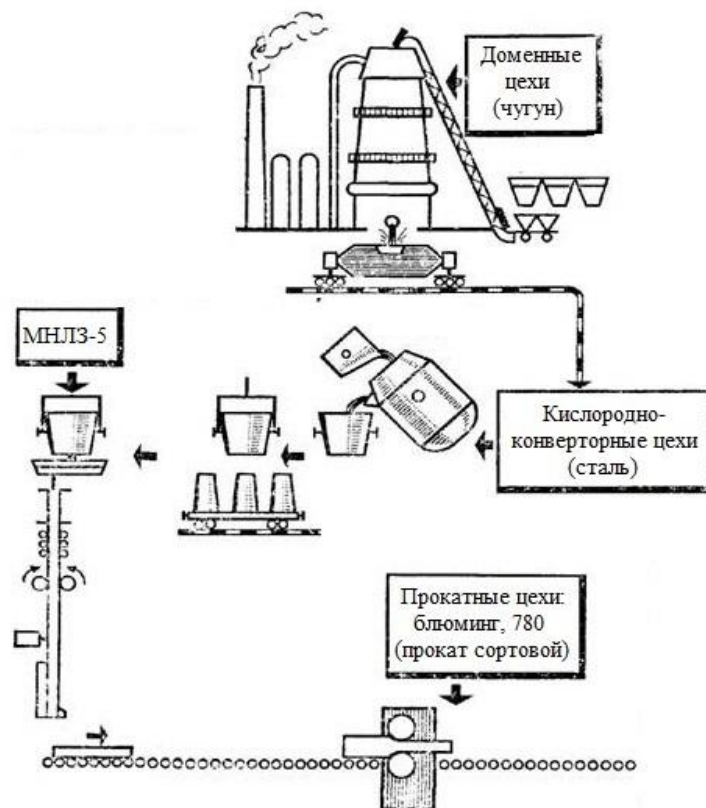
В нереверсивных двухвалковых клетях валки имеют постоянное вращение в одну сторону. Прокатываемый металл проходит между валками такой клетки только один раз и в одном направлении. Нереверсивные клетки применяют в линейных многоклетевых, последовательных, полунепрерывных и непрерывных прокатных станах при производстве заготовок, сортового проката, катанки, листа.

В трехвалковых клетях оси валков расположены в одной вертикальной плоскости и имеют постоянное направление вращения. Трехвалковые клетки нашли широкое применение при производстве сортового проката. Прокатываемый металл движется в одну сторону между нижним и средним валками и в обратную сторону – между средним и верхним. Для подъема металла на верхний уровень и его задачи между верхним и средним валками перед клетью или позади ее устанавливают подъемно-качающиеся столы.

### 1.3 Сортамент крупносортной стали

Основой современной металлургии стали является двухступенчатая схема, которая состоит из доменной выплавки чугуна и различных способов его передела в сталь. При доменной плавке, осуществляемой в доменных печах, происходит избирательное восстановление железа из руды, но одновременно из руды восстанавливаются также фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате из руды получают чугун – сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, серой и фосфором. Передел чугуна в сталь производят в конвертерах, мартеновских и электрических печах. В этих агрегатах происходит избирательное окисление примесей чугуна таким образом, что в процессе плавки они переходят в шлак и газы. В результате получают сталь заданного химического состава, из которой в дальнейшем получают готовую продукцию литьем и последующей сортовой прокаткой.

Схема получения готовой продукции из жидкого металла представлена на рисунке 4.



#### Рисунок 4 – Схема получения готовой продукции из жидкого металла

К сортовой стали относят профили общего и специального назначения: крупно-, средне- и мелкосортные квадратного и круглого сечений, полосы, уголки, проволоку, а также рельсы, балки, швеллеры и др.

На крупносортных станах прокатывают:

- круги диаметром 50-100 мм;
- квадратные профили размером 50×50-100×100 мм;
- угловые профили 80×80-200×200 мм;
- двутавровые балки высотой 120-220 мм;
- швеллер высотой 120-220 мм;
- рудничные рельсы Р15, Р18, Р24, Р33;
- полосы  $h = 14-50$  мм;  $b = 100-120$  мм.

При производстве сортовых профилей стальной слиток массой до 15 т с температурой поверхности 800-900°С поступающий из сталеплавильного цеха подогревают до температуры 1300°С в нагревательных колодцах и прокатывают на блюминге. Блюминг за 12-16 пропусков слитка через валки с калибрами в течение 1-2 мин обжимает его на блюмс квадратного (или близкого к нему) сечения размером от 140×140 до 450×450 мм.

Полученный полупродукт в горячем состоянии режется на мерные длины 4 м мощными сортовыми ножницами на ходу, при передвижении болванки по рольгангу. Далее блюмсы поступают без подогрева на непрерывный заготовочный стан для прокатки заготовок требуемых размеров либо на крупносортный стан, для прокатки крупных профилей сортовой стали. Однако в настоящее время большое распространение получают машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которые позволяют исключить применение блюмингов и заготовочных станов.

Выбрана следующая схема получения готовой продукции из жидкого металла:

#### 1.4 Основные технологические операции на стане 780 Челябинского металлургического комбината

Стан 780 линейного типа, введенный в эксплуатацию в 1952 г. и неоднократно реконструированный, расположен в трех параллельных пролетах 33, 30, 27 м и длиной 284 м. Склад заготовок в одном поперечном пролете, являющемся частью адьюстажа блюминга 1250 №2. Отделение отделки находится в четырех поперечных к стану пролетах, ширина каждого из которых по 30 м, длина 313,5 м. Эти пролеты общие для трех станов: 780, 240 и 300 №2. Большая часть площади отделения отделки занята оборудованием для отделки сортового проката со стана 780. Общая масса технологического оборудования 5266 т [1].

Сортамент стана: сталь круглая и заготовка трубная диаметром 90-180 мм, сталь квадратная со стороной 154 мм; передельная заготовка квадратная со стороной 75 мм. Длина готового проката 3-6 м.

Прокатываемые стали: обыкновенного качества, качественные и высококачественные, определенного назначения и со специальными свойствами.

Схема расположения оборудования стана «780» изображена на рисунке 5.

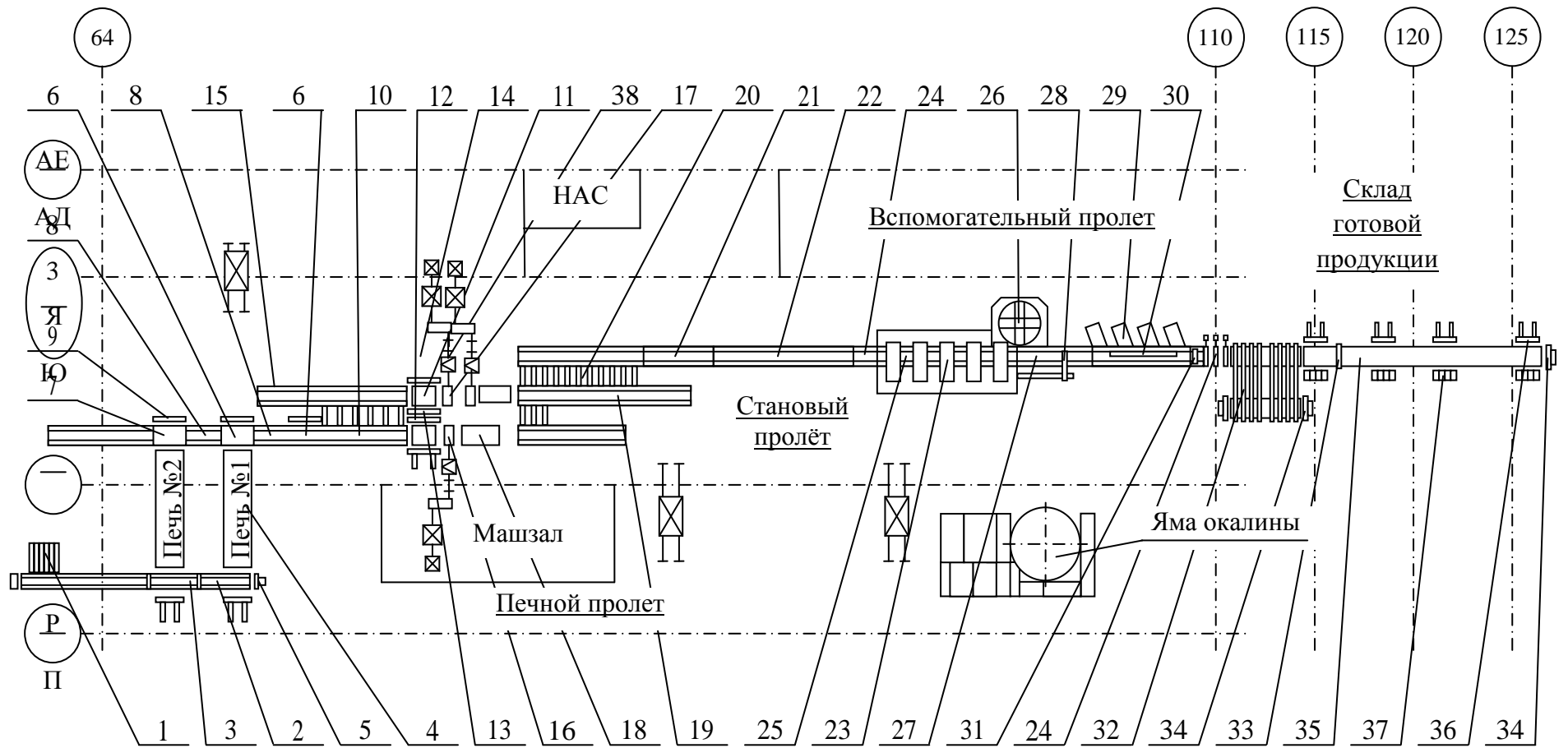


Рисунок 5 – Схема расположения оборудования стана «780»



Таблица 1 – Спецификация к схеме расположения оборудования стана «780»

Поз.	Наименование	Поз.	Наименование
1	Решетка загрузочная	20	Шлеппера за станом
2	Рольганг посадочный	21	Рольганг перед пилами
3	Упор утопающий	22	Рольганг пиловой
4	Печь методическая	23	Пила передвижная
5	Толкатель 120 т.с.	24	Секция рольганга 3-х роликовая
6	Рольганг выдачной против печей 1, 2 секция	25	Секция рольганга передвижная
7	Рольганг выдачной против печей 3 секция	26	Платформа поворотная
8	Рольганг между печами	27	Секция рольганга 8-ми роликовая
9	Буфера рольгангов выдачных	28	Упор передвижной
10	Рольганг перед ПКС№1	29	Рольганг пакетирующий
11	ПКС перед станом	30	Борт направляющий
12	Манипулятор с кантователем ПКС№1	31	Упор опускающийся двухсторонний
13	Манипулятор с кантователем 2, 3 клетки	32	Стеллаж передаточный
14	Рольганг рабочий перед клетью 3	33	Упор опускающийся односторонний
15	Рольганг раскатной перед клетью 3	34	Упор стационарный
16	Шлеппер перед станом	35	Рольганг транспортный
17	Группа клетей чистовая	36	Сталкиватель готовой продукции
18	ПКС за станом	37	Карман
19	Рольганги удлинительные за станом	38	Линия стана дуо рабочая

#### Подготовка металла к прокатке

Исходные заготовки – 1,11-2,2-т блюмы квадратные со стороной 250, 260, 265, 200 и 180 мм, длиной 3,5-4,27 м.

Заготовки из сталей по ГОСТ 380-71 (кроме экспортируемых) и ГОСТ 5781-75 (кроме 20ХГ2Ц) поставляются без зачистки на загрузочное устройство 1 стана «780» пратцен-краном. Заготовки сталей из других марок в зависимости от вида и назначения готового проката (сорт, заготовка, экспортный металл), диаметра готового профиля, химического состава стали поставляются после зачистки поверхностных дефектов – выборочной или сплошной – на адьюстаже блюминга 1250 №2 (1180) огневыми резаками, на наждачных или фрезерных станках, а также после полной или укороченной термообработки.

С загрузочной решетки блюмсы подаются на посадочный рольганг 2, по которому транспортируются до нагревательных методических печей.

Перед каждой печью имеется исчезающий упор 3, который позволяет установить заготовку перед печью в строго определенном положении. Блюмы нагревают в трех однорядных методических трехзонных печах 5 с нижним, подогревом полезной длиной по 21,7 м, шириной по 4,8 м. Расстояние между четырьмя глиссажными трубами – 1 м. Топливо – смесь коксового и доменного газов удельной теплотой сгорания 7,24-11,28 МДж/м. Горелок – 17. Воздух подогревают в металлическом трубчатом рекуператоре до 450°С. Газ не подогревают, давление его перед горелками 2,94-4,42 кПа. Для посадки в печь и выдачи блюмов из печи предусмотрен реечный толкатель 4 усилием 1,2 МН.

Марки стали по режиму нагрева делят на две группы. Температура печи у окна посада: для углеродистых и низколегированных сталей (заготовки для арматурных профилей) не ограничивается, для легированных и высоколегированных сталей <800°С. Максимальная температура стенки в первой и второй зонах печи 1200-1360°С, в томильной 1180-1320°С. Минимальная продолжительность нагрева 3,3-5,5 ч. Норма выдачи из печи: 16-28 шт/ч.

Заготовки до и после нагревательных печей транспортируют по рольгангам 6, 7, 8, 10 со скоростью 1,7 и 1,85 м/с. Диаметр их роликов 500 и 450 мм, длина бочки 1,0 и 2,0 м.

#### Оборудование стана и технология прокатки

Стан 780 состоит из трех трехвалковых клетей, расположенных в линию. Станины клетей открытого типа из стали 35Л. Диаметры бочек рабочих валков 780/730 мм, длина бочки 2100 мм, диаметр и длина шейки 460 и 520 мм. Материал валков: первой клетки – сталь 50 с наплавкой проволоки из стали 30ХГСА; второй и третьей клетей – низколегированный чугун. Нажимное устройство винтовое ручное. Уравновешивание верхних валков пружинное. Подшипники валков текстолитовые.

Привод валков от двух электродвигателей: 2940-кВт асинхронного и 1030-кВт постоянного тока, работающих на общий вал. Частота вращения обоих двигателей 400-595 об/мин. Передаточное число редуктора 5. Межосевое расстояние валков шестеренной клетки 750 мм. Максимальный крутящий момент на шпинделе 800 кН\*м.

Клеть I оборудована подъемно-качающимися столами с передней и задней сторон, манипулятором и кантователем с передней стороны. Каждая линейка манипулятора индивидуально приводится от 56-кВт электродвигателя. Максимальное усилие правки 0,18 МН. Рабочий ход линеек 2100 мм. Длина линеек 7800 мм. На правой линейке смонтирован четырехкрюковой кантователь с электроприводом.

Клетки II и III оборудованы с задней стороны подъемно-качающимися столами, а с передней стороны – спаренными роликовыми манипуляторами и кантующей скобой с гидроприводом. Раствор между манипуляторными роликами 60-600 мм. Механизм кантовки раскатов на угол 90° и 45° срабатывает за 0,75 с. Скорость передвижения манипуляторов и кантователей 0,4-0,8 м/с, поперечный ход 2150 мм. С передней стороны только клетка II оборудована подъемно-качающимся столом.

Длина раскатного поля с передней стороны 38,3 м, с задней – 41 м. Раскаты от одной клетки к другой передают шлепперами. Диаметр роликов раскатных и рабочих рольгангов 450 мм, длина бочки 2100-3000 мм; скорость транспортировки раскатов 2,8-3,2 м/с.

Прокатку на стане 780 профилей диаметром 90-145 мм ведут: в клетке I – за семь проходов в ящичных калибрах из заготовки 260x260 мм; в клетке II – за три прохода в двух ящичных и одном ромбическом (для заготовки сечением 75x75 мм и диаметром 90 и 95 мм) или овальном (для стали диаметром 100-145 мм); в клетке III – за три прохода: квадрат – ромб – квадрат заготовки 75x75 мм и квадрат – плоский овал – круг заготовки диаметром 90 и 95 мм; за один проход – заготовок диаметром 100-145 мм.

Прокатку заготовок диаметром 150-180 мм и сечением 154x154 мм ведут в клетки I за пять проходов, в клетки II – за три прохода в двух ящичных и одном плоском овальном калибрах для круглых профилей и в трех ящичных для квадратного 154 мм; в клетки III – за один проход.

После прокатки металл по транспортному рольгангу 21, 22 отправляется для порезки согласно требованиям заказчика на мерные длины. Для порезки на мерные длины установлено пять маятниковых и рычажных пил 23. Длина отрезаемых заготовок 3-7,5 м. Цикл реза составляет 5 с.

Участок включает в себя передвижные 3-х роликовые рольганговые секции с индивидуальным приводом роликов, содержащих по 2 подъемных колосника, стационарные рольганги, составленные как из роликов с индивидуальным приводом, так из секций с групповым приводом.

Для установки длины разрезаемого металла за пилами установлен передвижной упор 28. Обрезь, образуемая при резке, по наклонному желобу попадает в короб, установленный на поворотной платформе 26.

Порезанные заготовки клеймятся вручную и по транспортным рольгангам передаются к сталкивателям готовой продукции 36, установленным в каждом пролете участка отделки, набираются в пакеты в приемный карманах и складировются в зависимости от режима охлаждения или в колодцы замедленного охлаждения или на воздухе.

После охлаждения металл передается на дальнейшую обработку на участок отделки стана, где производится правка проката, сплошная или выборочная зачистка дефектов на шлифовальных станках типа Ш7-05, обдирка на бесцентрово-токарный станках типа 9340 и отгрузка потребителю.

## 1.5 Анализ технологического процесса на стане и разработка предложений по его реконструкции

Прокатные клетки, как основной инструмент технологии прокатки, оказывают значительное влияние на процесс прокатки. Они относятся к одному из наиболее металлоемких и дорогих типов оборудования прокатных станов. Удачно выбранная конструкция клетки позволяет осуществлять последующие реконструкции стана без значительных капитальных затрат.

Из-за длительной эксплуатации оборудование, используемое на данный период на стане 780 ПАО «ЧМК», физически изношено. Увеличивается число простоев стана из-за частых поломок оборудования. Часты отступления от требований ГОСТ и ТУ на товарную продукцию по геометрическим размерам даже обычной точности. Из-за несовершенства передаточных устройств при поперечных перемещениях горячих полос от клетки к клетке на поверхность раскатов наносятся дефекты (риски, царапины и т. д.).

Ручной привод нажимных устройств у клеток требует значительных физических усилий, клетки трудны в настройке. Нахождение вальцовщиков на раскатном поле и у подъемно-качающихся столов приводит к травмам работающих.

Клеймение проката осуществляется вручную и связано с тяжелым физическим трудом, опасностью нахождения людей в районе пил и движущегося горячего проката.

Учитывая выше изложенное, стан подлежит реконструкции с заменой основной части технологического оборудования на новое, более совершенное. Целесообразной является установка двух печей с шагающими балками, чистой реверсивной группы прокатных клеток, которые будут включать две прокатные клетки дуо бесстанинной конструкции фирмы «Danieli», а также маркировочного оборудования для горячих заготовок [4].

Печь с шагающими балками представлена на рисунке 6.

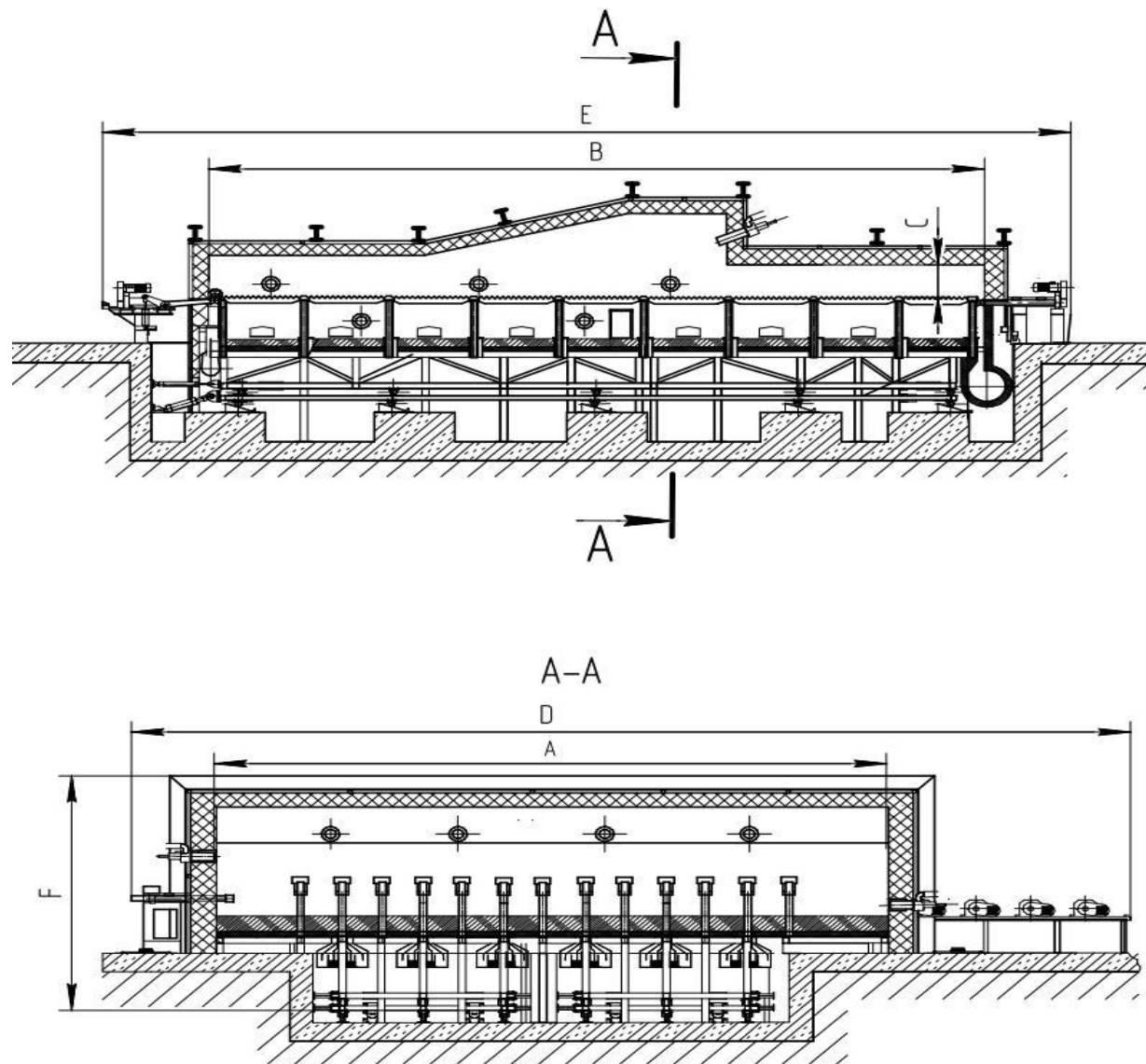


Рисунок 6 – Печь с шагающими балками

Печи с шагающими балками предназначены для газового нагрева массивных блюмов, слябов, балочных заготовок перед пластической деформацией (прокаткой). В печах с шагающими балками заготовки опираются на специальные металлические балки, рабочий уровень которых находится выше уровня пода. Печные балки делятся на стационарные и приводные (шагающие).

Печи с шагающими балками имеют максимальную производительность за счет применения верхнего и нижнего нагрева. Рекомендуемая толщина нагреваемых заготовок должна быть более 130 мм. Производительность подобных печей, как правило, более 90 т/час.

Корпус печи собирается в единый нагревательный блок из печных футерованных модулей, планшетов, перекрытий и т.п. Уровень свода печей выполнен на разных уровнях, включая наклонные участки. К элементам печи, находящимся на возвышении (горелки, задвижки) подведены лестничные марши и площадки для обслуживания. В корпусе имеются уплотняемые проемы для уборки окалины и технического обслуживания.

Под печи собирается из бетонных огнеупорных плит, ниже идут слои из волокнистых материалов. Вся футеровка пода печи фиксируется на стальном каркасе. В поду печи имеются проемы (пазы) под перемещения шагающих балок и под удаление окалины.

Неподвижные опоры (балки) состоят из нескольких рядов стальных опор и райтеров. Райтер изготавливается отливкой из высоконикелевой стали и опирается на опоры со специальными подушками. Для придания прочности печные балки изнутри охлаждаются водой, снаружи теплоизолируются.

Подвижные балки по конструкции схожи с неподвижными. Подвижные балки опираются на подвижную раму. Внизу у подвижных балок имеются специальные теплоизоляционные элементы, перекрывающие паз во время шагания. Уровень рабочих поверхностей подвижных и неподвижных балок в период паузы при шагании находится на одном уровне. Конструкция шагающих балок состоит из рамы вертикального перемещения и рамы горизонтального перемещения, промежуточных роликов, гидроприводов, и наклонных опор.

Взаимное перемещение двух рам (шаг) относительно неподвижного пода перемещает заготовки в процессе работы.

Печной рольганг загрузки является промежуточным звеном между подающим рольгангом и балками печи. Печной рольганг представляет собой сварную раму, на которой размещены консольные ролики. Ролики выполнены водоохлаждаемыми. Рабочая часть роликов размещена в печном пространстве. Датчик длины заготовки определяет её длину и выдает сигнал приводам на выполнение перемещение и остановки заготовки в нужном месте.

Печной рольганг выгрузки предназначен для снятия заготовок с печных балок и вывода заготовки из печи. Печной рольганг выгрузки состоит из сварной рамы, консольных роликов и специальных манипуляторов. Съём заготовок с балок производят манипуляторы, а рольганги выводят заготовку из печи.

Нагрев печи производится теплом, выделяемым при горении природного газа (опционально – мазут). В подобных печах применяются высокоскоростные горелки с низким выбросом NOX. Как правило, подобные печи имеют методическую, сварочную и томильную зоны. Каждая горелка оборудована необходимой арматурой и коммутирована в определенную зону нагрева.

Система водяного охлаждения предназначена для подачи воды под снижение температуры эксплуатации печных балок, рольгангов, манипуляторов. Подача воды на каждый источник потребления обеспечивается разнесенной системой подачи и отвода воды. Система водяного охлаждения включает: гидравлические рукава, клапана, краны, вентили, реле протока жидкости, ниппели для присоединения гидравлических рукавов и т.п.

Гидравлическая система печи предназначена для перемещения подвижных рам печи. Гидравлическая система включает насосную станцию, гидроцилиндры, дроссели, гидравлические магистрали, фильтры, масляный бак, необходимую арматуру и т.д.

Бесстанинная прокатная клеть фирмы «Danieli» представлена на рисунке 7.



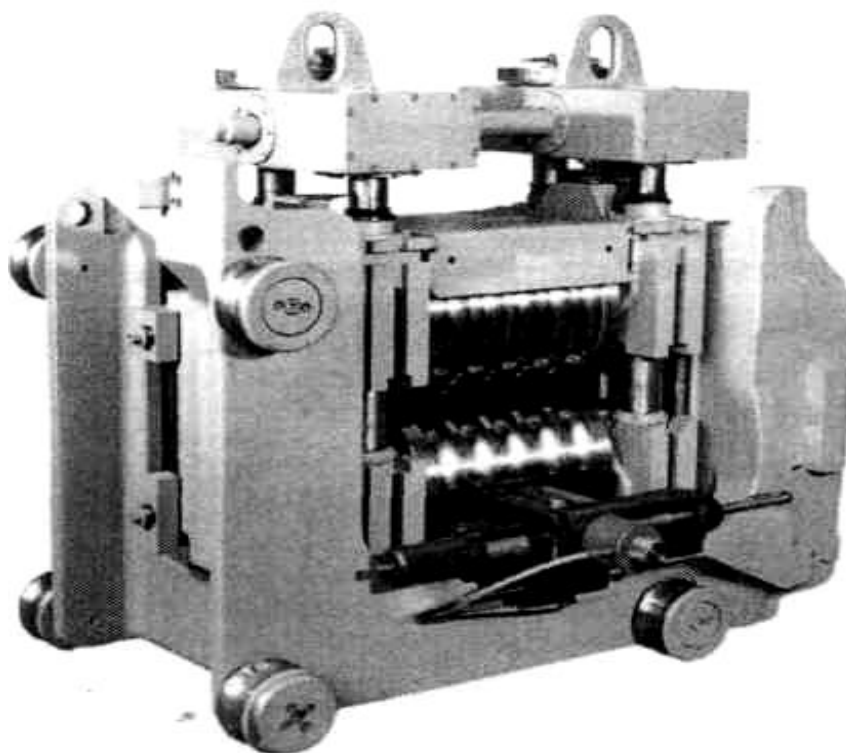


Рисунок 7 – Бесстанинная прокатная клеть фирмы «Danieli»

Бесстанинные прокатные клетки имеют ряд преимуществ в сравнении с работающими на большинстве российских предприятий клетями устаревшей конструкции:

- рабочие клетки могут использоваться для установки как в горизонтальном, так и в вертикальном положении;
- конструкция клетей более легкая (масса клетки меньше в среднем на 15-30 %);
- более благоприятное распределение нагрузок на подшипниковый узел позволяет увеличить срок его службы;
- повышенная жесткость клетки, как в радиальном, так и в осевом направлении позволяет получать продукцию с точными геометрическими размерами в узких допусках;
- быстрая смена валков и калибров.

Основным элементом прокатной клетки дуо бесстанинной конструкции фирмы «Danieli» является кассета, закрепленная в опорной раме, которая изображена на рисунке 8.

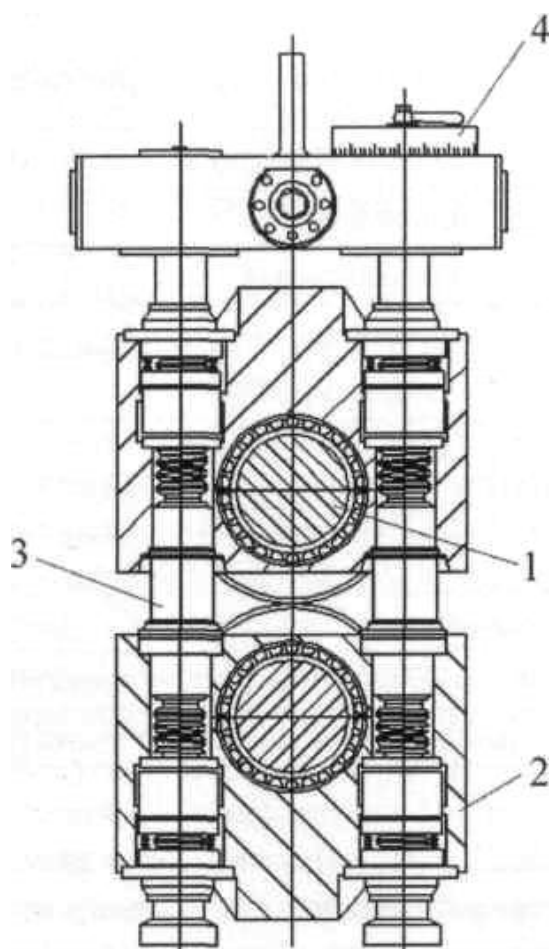


Рисунок 8 – Бесстанинная прокатная клеть фирмы «Danieli»:

1 – валок; 2 – подушка; 3 – нажимной винт; 4 – нажимное устройство

Кассета состоит из валков 1, установленных в подушках 2. Подушки связаны между собой четырьмя нажимными винтами 3. Винты опираются на подушки через сферические шайбы. Таким образом, подушки самоустанавливаются в результате прогиба валков. Раствор валков регулируется посредством нажимного устройства 4, закрепленного на кассете.

В подшипниковом узле, изображенном на рисунке 9, используются четырехрядные цилиндрические роликоподшипники для восприятия радиальной нагрузки и упорные роликоподшипники с коническими роликами для восприятия осевой нагрузки.

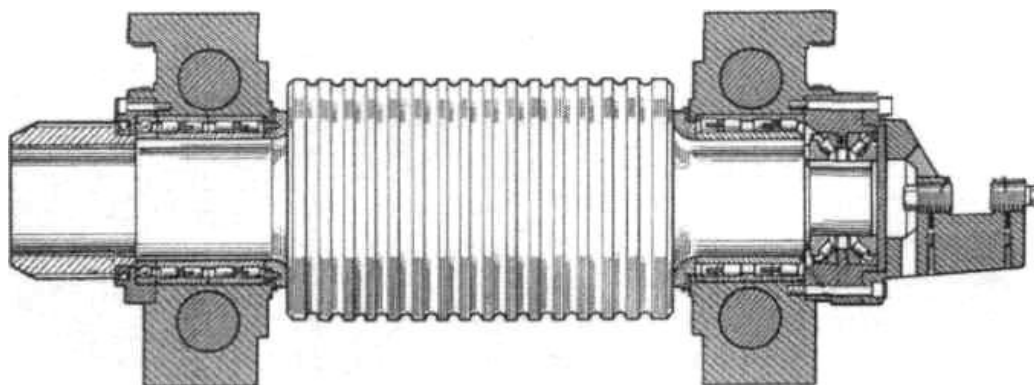


Рисунок 9 – Узел валка бесстанинной прокатной клети фирмы Danieli»

Клеть устанавливается в специальную раму и может использоваться как в качестве горизонтальной, так и вертикальной. Перевалка осуществляется с помощью крана или специального устройства путем замены кассеты.

Техническая характеристика бесстанинных прокатных клетей фирмы «Danieli» приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика бесстанинных клетей фирмы «Danieli»

Тип клети			P725	P730	P736	P742	P754
Диаметр валка	минимальный	мм	248	304	360	418	538
	максимальный	мм	360	550	600	650	820
Длина бочки валка	минимальный	мм	180	220	350	420	500
	стандартный	мм	480	220	350	420	500
	удлиненн./горизонт.	мм	600	820	1000	1000	2100
	удлиненн./вертик.	мм	600	624	820	820	–
	САР 700 (компактн.)	мм	480	624	820	820	–
Диаметр шейки вала		мм	165	200	230	280	360
Максимально допустимое усилие прокатки		кН	1204	2040	2650	4600	7800
Максимально допустимый момент прокатки		кНм	40	90	160	210	450

Маркировочное оборудование для горячих заготовок представлено на рисунке 10.



Рисунок 10 – Маркировочное оборудование для горячих заготовок

Маркировочная машина представляет собой конструкцию поперечных салазок и может маркировать горячие заготовки по одной с торцевой стороны. Маркировочная головка укомплектована 32 буквами кириллицы и арабскими цифрами от 0 до 9.

Как только заготовка попадает из холодильника на промежуточный стол в положение штампа, а маркировочная машина получает от главного компьютера сигнал «Маркировать», то маркировочная головка на крестовом суппорте опускается к торцевой поверхности заготовки. Если достигается правильная дистанция до поверхности маркировки, то суппорт останавливается и начинается процесс маркировки.

Единичными шагами продвигается маркировочная головка вдоль торцевой поверхности заготовки и выбивает соответствующую маркировку на заготовке. Маркировка может состоять из 3 строчек по 10 знаков (максимум).

Как только закончен процесс маркировки, то маркировочная головка уводится обратно в теплозащитную камеру, вне холодильника. Общий цикл маркировки, на одну заготовку, длится примерно 1 минуту.

## 2 Расчеты основных показателей процесса прокатки

### 2.1 Калибры для прокатки заданного профиля

В разработанной системе калибровки для удаления окалины с проката выбран ящичный калибр в начале прокатки. Система калибров состоит из трех прямоугольных ящичных калибров, трех квадратных ящичных калибров, двух овалов и круга. Схема калибровки изображена на рисунке 11.

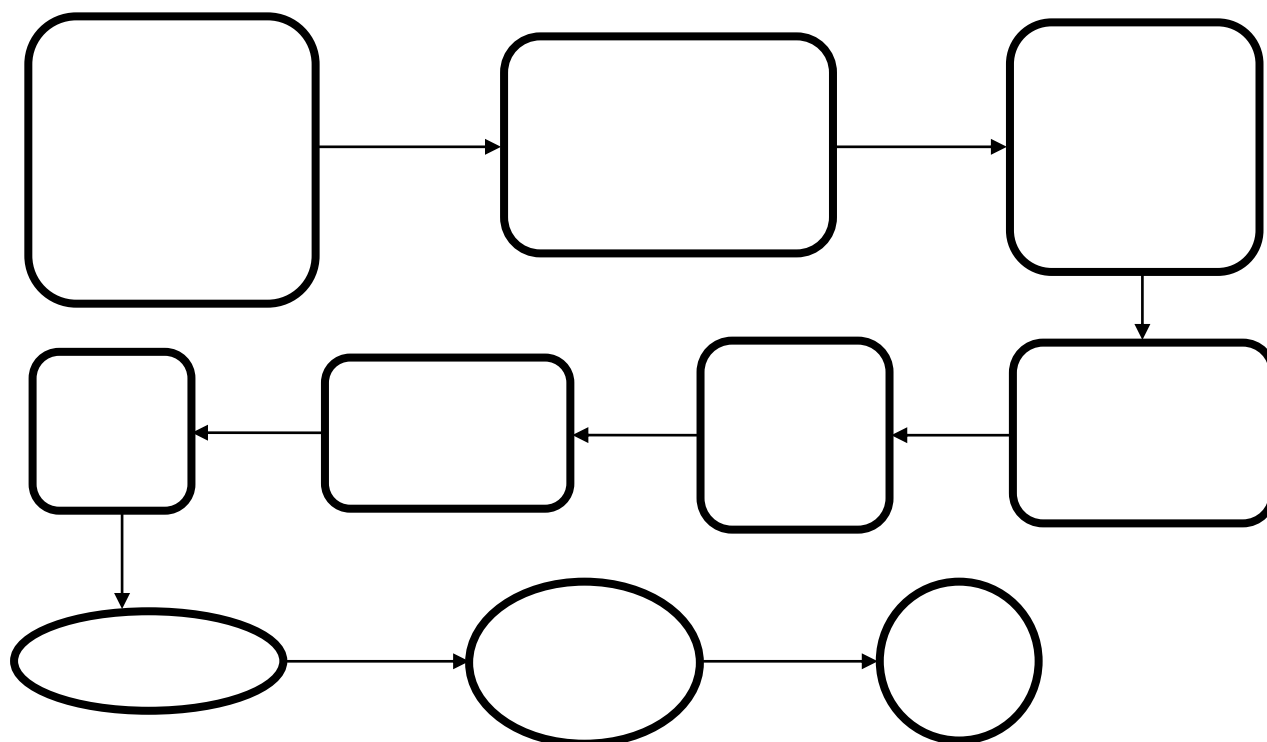


Рисунок 11 – Схема калибровки

## 2.2 Режимы обжатий и формоизменение металла

Исходные данные для расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

Заготовка, мм	кв. 180
Готовый профиль, мм	Ø 75
Условия прокатки	горячая из печи
Материал	Сталь 45
Тип стана	линейный
t, °C	1200
v <sub>1</sub> , м/с	2
$D_{\text{б}}^{1-5}$ , мм	780
$D_{\text{б}}^{6-9}$ , мм	700

Расчет количества проходов осуществляется по следующей формуле:

$$n = \frac{\ln S_0 - \ln S_k}{\ln \lambda} = \frac{\ln 33182,2 - \ln 4488,4}{\ln 1,25} = 8,97 \approx 9,$$

где  $S_0$  – площадь поперечного сечения заготовки, мм<sup>2</sup>;

$S_k$  – площадь поперечного сечения готового проката, мм<sup>2</sup>;

$\lambda$  – коэффициент вытяжки.

Определяем размеры исходной заготовки и конечного профиля в горячем состоянии:

где  $h_{0г}$  – высота заготовки в горячем состоянии, мм;

$k$  – температурный коэффициент,  $k = 1,012$ .

где  $d_{\text{пт}}$  – диаметр конечного профиля в горячем состоянии, мм;

$\Delta 1$  – верхнее допустимое отклонение по диаметру круга,  $\Delta 1 = +0,5$  мм,

$\Delta 2$  – нижнее допустимое отклонение по диаметру круга,  $\Delta 2 = -1,1$  мм,

Основными абсолютными показателями деформации являются обжатие и уширение. При расчете калибровки высоту можно получить достаточно легко,

где  $h_{0г}$  – высота заготовки в горячем состоянии, мм

$\Delta h$  – обжатие, мм

Величина обжатия в первом проходе из практических данных взята равной 50 мм. Величину уширения предсказать более трудно. Существует несколько методов расчета уширения. В данной выпускной квалификационной работе уширение определяем по формуле Бахтинова [2]:

где  $\Delta h$  – обжатие, мм

$h_{0г}$  – высота заготовки в горячем состоянии, мм

$R_B$  – радиус вала, мм

$f$  – коэффициент трения, который определяем по формуле:

$$f = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * (1,05 - 0,0005 * t) = 0,9 * 0,9 * 1 * 0,89 * (1,05 - 0,0005 * 1200) = 0,32$$

где  $k_1$  – учитывает состояние поверхности инструмента и его материал;

$k_2$  – учитывает влияние скорости прокатки;

$k_3$  – учитывает химический состав обрабатываемого материала;

$k_4$  – учитывает влияние формы заготовки и калибра;

$t$  – температура прокатки, °С

Значения коэффициента  $k_1$ , учитывающего состояние поверхности инструмента и его материал приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения коэффициента  $k_1$

Материал валков	Значение коэффициента $k_1$
Валки стальные	–
полированные	0,8
шлифованные	0,9
обточенные	1,0
с сеткой разгара	1,2
насеченные	1,4
Валки чугунные	–
шлифованные	0,7
обточенные	0,8
с сеткой разгара	1,0

Значения коэффициента  $k_2$ , учитывающего влияние скорости прокатки, определяем по рисунку 12.

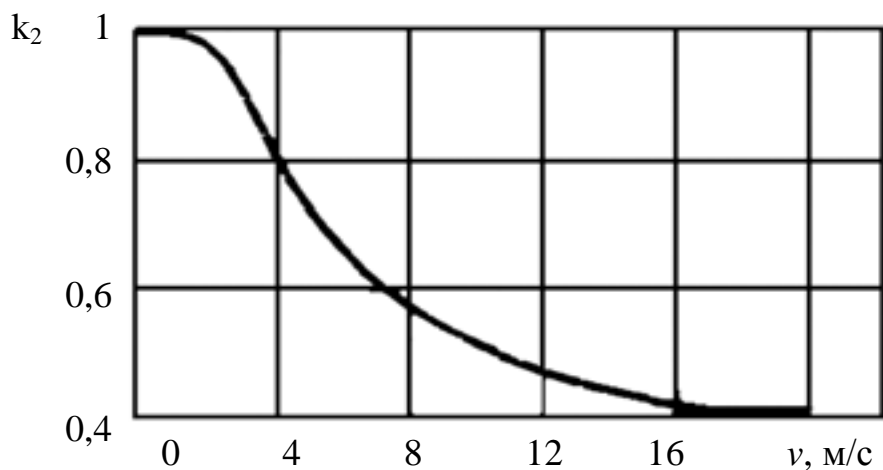


Рисунок 12 – Значения коэффициента  $k_2$

Значения коэффициента  $k_3$ , учитывающего химический состав обрабатываемого материала приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения коэффициента  $k_3$

Стали или сплавы	Значение коэффициента $k_3$
Углеродистые	1,00
Ледебуритные	1,10
Перлитномартенситные	1,30
Аустенитные	1,45
Ферритные	1,55
Аустенитные с включением карбидов	1,60

Значения коэффициента  $k_4$ , учитывающего влияние формы заготовки и калибра приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения коэффициента  $k_4$

Схема прокатки	Значение коэффициента $k_4$
Форма заготовки – форма калибра	
Прямоугольник – разрезной калибр; круг – гладкая бочка	0,890
Овал – ребровой овал; ребровой квадрат – ромб; овал – круг	0,975
Круг – эллиптический овал; эллиптический овал – круг	1,000

Окончание таблицы 6

Схема прокатки	Значение коэффициента $k_4$
Форма заготовки – форма калибра	
Ромб – квадрат;	1,025



шестиугольник – шестигранник	
Круг – овал; эллиптический овал – овал	1,035
Овал – квадрат; круг – ромб	1,120
Квадрат – овал	1,150
Шестиугольник – квадрат	1,220

Катающий диаметр рассчитываем по следующей формуле:

$$D_k = 2 * R_B - h_i + s = 2 * 390 - 132,2 + 15 = 662,8 \text{ мм.}$$

где  $s$  – величина зазора между буртами в мм, которую при диаметре валков в пределах  $D > 600$  мм принимаем:

$$s = 0,015 * D + 2 = 0,015 * 780 + 2 \approx 15 \text{ мм}$$

Результаты расчетов режимов обжатий и формоизменения металла для последующих проходов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет режимов обжатий и формоизменения металла

Параметры	Номер прохода								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta h$ , мм	50,0	39,3	32,8	38,6	33,2	30,0	34,5	38,6	5,5
$h$ , мм	132,2	152,8	110,1	121,8	89,6	101,7	63,4	74,2	75,6
$R_b$ , мм	390	390	390	390	390	350,00	350,00	350,00	350,00
$k_1$	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,70	0,70	0,70	0,70
$k_2$	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
$k_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$k_4$	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,15	1,04	0,98
$f$	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,25	0,33	0,29	0,28
$\Delta b$ , мм	9,9	10,8	7,7	12,8	9,8	8,3	11,1	17,7	1,4
$b$ , мм	192,0	143,0	160,5	122,9	131,7	97,9	112,8	81,1	75,6
$S$ , мм <sup>2</sup>	23 871	19 851	16 627	13 698	11 103	9070,7	6793,2	5527,8	5229,0
$\lambda$	1,39	1,20	1,19	1,21	1,23	1,22	1,34	1,23	1,06
$D_B$ , мм	662,84	642,23	684,87	673,15	705,36	613,33	651,59	640,85	639,40
$R_B$ , мм	331,42	321,12	342,44	336,58	352,68	306,67	325,80	320,42	319,70

### 2.3 Энергосиловые параметры процесса прокатки

Рассчитаем энергосиловые параметры в первом проходе [5].

Усилие прокатки определяется по выражению:

$$P = p_c * F_r,$$

где  $p_c$  – среднее удельное давление, МПа

$F_r$  – горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками, мм<sup>2</sup>

Среднее удельное давление рассчитываем по формуле:

$$p_c = \beta * n_\sigma * \sigma_{SC}.$$

где  $\beta$  – коэффициент Лодэ, равный 1;

$n_\sigma$  – коэффициент напряженного состояния.

В 1-4, 6 и 9 проходах  $n_\sigma$  определяем по методике А.И. Целикова, так как

$$\frac{l}{h_c} < 1 :$$

$$n_\sigma = \left(\frac{l}{h_c}\right)^{-0,4}.$$

где  $l$  – длина очага деформации:

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1) * R_B} = \sqrt{(182,2 - 132,2) * 390} = 139,6 \text{ мм}$$

$$h_c - \text{средняя высота в очаге деформации, } h_c = \frac{h_0 + h_1}{2} = \frac{182,2 + 132,2}{2} = 157,2 \text{ мм}$$

В 5, 7 и 8 проходах  $n_\sigma$  определяем по методике М.Я. Бровмана, так как

$$\frac{l}{h_c} > 1 :$$

$$n_\sigma = 0,5 * \left(\frac{l}{h_c} + \frac{h_c}{l}\right)$$

Среднее сопротивление деформации  $\sigma_{SC}$ , при горячей прокатке определяем по методике ЧГТУ:

$$\sigma_{SC} = K_0 * U_C^{K_U} * \varepsilon_1^{K_\varepsilon} * e^{-K_t * t} = 1475 * 7,42^{0,199} * 0,32^{0,0865} * e^{-0,00275 * 1200} = 73,47 \text{ МПа.}$$

где  $K_0$  – базовое сопротивление деформации, определяемое при  $U_c = 1 \text{ с}^{-1}$ ,  $\varepsilon_c = 0,1$ ,  $t = 1000^\circ\text{C}$ ; для стали 45 значение коэффициента  $K_0$  составляет 1475 МПа;

$K_U$ ,  $K_\varepsilon$ ,  $K_t$  соответственно коэффициенты учета влияния скорости, степени и температуры на сопротивление деформации; для стали 45 значение данных коэффициентов составляет 0,199, 0,0865 и 0,00275 соответственно;

$\varepsilon_1$  – конечная логарифмическая степень деформации,  
 $\varepsilon_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{182,2}{132,2} = 0,32$  ;

$U_C$  – средняя скорость деформации,

где  $\varepsilon$  – степень деформации,  $\varepsilon = \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right) = \left(1 - \frac{132,2}{182,2}\right) = 0,27$  .

Исходя из приведенных выше расчетов, среднее удельное давление в первом проходе составляет:

$$p_C = 1 * 1,05 * 73,47 = 77,0 \text{ МПа}$$

Горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками при прокатке в ящичных калибрах в 1-6 проходах определяется по следующей формуле:

$$F_{\Gamma} = \left(\frac{2}{3} * b_0 + \frac{1}{3} * b_1\right) * \sqrt{(h_0 - h_1) * R_{\text{В}}}$$

При прокатке в овальных и круглых калибрах в 7-9 проходах:

$$F_{\Gamma} = \frac{3}{4} * b_1 * \sqrt{(h_0 - h_1) * R_{\text{В}}}$$

Таким образом, усилие прокатки в первом проходе составляет:

$$P = 77,0 * 25,897 = 1994,84 \text{ кН}$$

Для двухвалкового калибра момент прокатки определяется следующим образом:

$$M_{\text{В}} = 2 * P * \Psi * l = 2 * 1994,84 * 0,5 * 139,6 = 278,56 \text{ кН * м,}$$

где  $\Psi$  – коэффициент плеча приложения равнодействующей, который при горячей сортовой прокатке, в двухвалковых калибрах можно приближенно принимать  $\approx 0,5$ .

Момент трения в подшипниках валков:

где  $d_n$  – диаметр шейки валка, равный 460 мм;

$\mu$  – коэффициент трения для подшипников, равный 0,015

Крутящий момент на валу электродвигателя определяется выражением:

где  $\eta$  – КПД линии привода, равный 0,95;

$i_p$  – передаточное число редуктора в линии привода = 5;

$M_{xx}$  – момент холостого хода, необходимый для привода главной линии прокатного стана во время паузы, кН\*м

Мощность, по валу электродвигателя:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_B}{30} = \frac{\pi \cdot 100}{30} = 10,47$$

где  $\omega$  – частота вращения вала двигателя,

Все расчеты были произведены для первого прохода, результаты расчетов энергосиловых параметров прокатки для последующих проходов представлены в таблице 8.

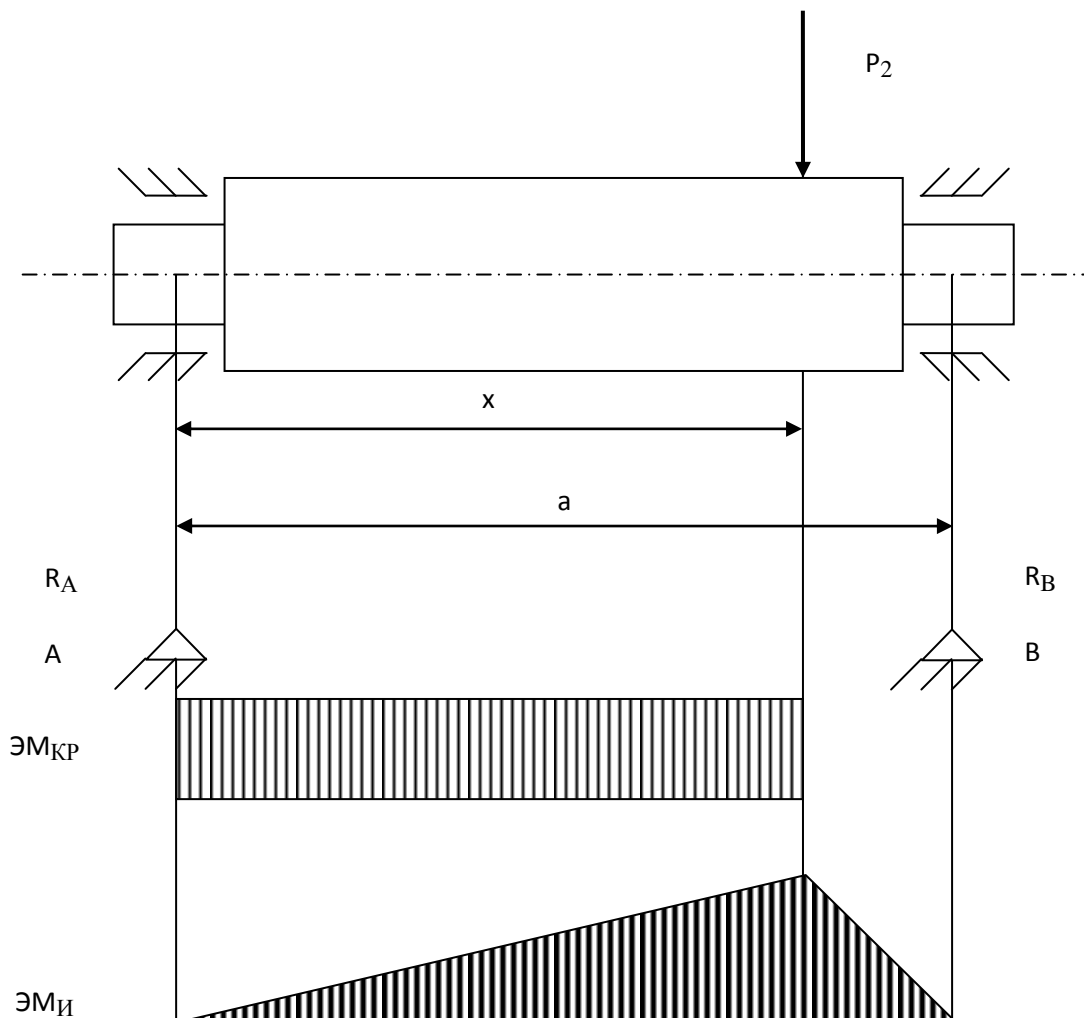
Таблица 8 – Расчет энергосиловых параметров прокатки

Параметры	Номер прохода								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varepsilon$	0,27	0,20	0,23	0,24	0,27	0,23	0,23	0,23	0,05
$U_c, c^{-1}$	7,42	6,14	7,79	7,46	9,25	7,65	9,28	8,46	4,43
$\varepsilon_1$	0,32	0,23	0,26	0,28	0,32	0,26	0,43	0,42	0,07
$\sigma_{sc}, \text{МПа}$	73,47	68,72	72,87	72,59	76,66	72,55	78,87	77,18	58,12
$l, \text{мм}$	139,64	123,76	113,16	122,77	113,87	102,48	109,90	116,29	43,82
$h_c, \text{мм}$	157,16	172,40	126,55	141,17	106,26	116,67	80,66	93,47	78,34
$l/h_c$	0,89	0,72	0,89	0,87	1,07	0,88	1,36	1,24	0,56
$n_\sigma$	1,05	1,14	1,05	1,06	1,00	1,05	1,05	1,02	1,26
$p_c, \text{МПа}$	77,03	78,46	76,20	76,76	76,84	76,42	82,67	79,03	73,33
$F_r, \text{мм}^2$	25 897	16 801	17 579	14 043	14 248	9 469	11 581	8 059	3 271
$P, \text{кН}$	1994,8	1318,2	1339,5	1077,9	1094,8	723,6	957,4	636,8	239,8
$M_B, \text{кН*м}$	278,56	163,14	151,58	132,34	124,66	74,15	105,22	74,06	10,51

$M_{TP}, \text{кН*М}$	13,76	9,10	9,24	7,44	7,55	3,91	5,17	3,44	1,30
$M_{ДВ}, \text{кН*М}$	64,62	38,07	35,55	30,90	29,23	17,25	24,40	17,13	2,61
$N_{ДВ}, \text{кВт}$	676,70	398,70	372,28	323,56	306,06	180,68	255,53	179,39	27,33

#### 2.4 Расчет валка на прочность

Так как максимальное усилие прокатки действует в первом проходе, то по



нему и будем вести расчет на прочность валка [8]. Схема нагружения валка представлена на рисунке 13.

Рисунок 13 – Схема нагружения валка

Определим силы реакции в подшипниках валка:

$$M_A = P_2 * x - R_B * a = 0$$

Отсюда сила реакции в опоре В:

$$R_B = \frac{(P_2 * x)}{a} = \frac{(1994,84 * 1274)}{2600} = 977,47 \text{ кН},$$

где  $P_2$  – усилие действующее на валок со стороны металла, кН;

$x$  – расстояние от опоры А, до приложения силы  $P_2$  равное 1274 мм;

$a$  – расстояние между осями опор равное 2600 мм.

Запишем уравнение равновесия относительно точки В:

$$M_B = R_A * a - P_2 * (a - x) = 0$$

Отсюда сила реакции в опоре А:

$$R_A = P_2 * \frac{(a - x)}{a} = 1994,84 * \frac{(2600 - 1274)}{2600} = 1017,37 \text{ кН}$$

Находим момент изгибающий:

$$\text{кН*м}$$

Находим осевой момент сопротивления:

$$W_x = 0,1 * D_B^3 = 0,1 * 0,662^3 = 0,029 \text{ м}^3$$

Находим напряжение изгиба валка по формуле:

$$\text{кН/м}^2$$

Находим крутящий момент по формуле:

$$\text{кН*м}$$

Найдем полярный момент сопротивления:

$$W_p = 0,2 * D_B^3 = 0,2 * 0,662^3 = 0,13 \text{ м}^3$$

Найдем напряжение кручения:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_p} = 19, \frac{67}{0,13} = 148,4 \text{ кН/м}^2$$

Найдем результирующее напряжение:

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma_H^2 + 3 * \tau_{кр}^2} = \sqrt{44506^2 + 3 * 148,4^2} = 44507,13 \text{ кН/м}^2$$

Прочность конструкции будет обеспечена, если возникающее в ней наибольшее напряжение не превышает допускаемого. Отношение предельного напряжения  $[\sigma]$  к наибольшему расчетному напряжению  $\sigma_{рез}$  называют коэффициентом запаса прочности. Из сказанного выше следует, что его значение должно быть больше единицы, иначе прочность конструкции будет нарушена.

Найдем коэффициент запаса прочности:

где  $[\sigma]$  – допустимое напряжение, 100-120 МН/м<sup>2</sup>

Из результатов расчета видно, что коэффициент запаса прочности в пределах допустимого.

## 2.5 Технико-экономические показатели

К основным технико-экономическим показателям относятся: ритм прокатки, производительность стана, расход металла.

Ритм (такт, цикл) прокатки – это время между одноименными моментами прокатки двух следующих друг за другом слитков (заготовок). Ритм прокатки можно определить по формуле:

где  $T_m$  – машинное время (собственно прокатки);

$T_n$  – время пауз между проходами,  $\approx 5$  с;

$T_k$  – время кантовки,  $\approx 7$  с.

Время прокатки в каждом проходе определяем по следующей формуле:

где  $l_i$  – длина раската в каждом проходе,  
 $l_i = 1,1 \quad \lambda = 4 * 1,39 = 5,56$

м

Для определения длины раската в первом проходе используем длину заготовки в размере 4 м.

Скорость выхода металла из калибра в каждом проходе определяем как:

$$v_i = \frac{\pi * D_B * n_B}{60} = \frac{\pi * 662,84 * 100}{60} = 3,47 \frac{м}{с}$$

где  $n_B$  – частота вращения валка, 100 об/мин.

Все расчеты были произведены для первого прохода, результаты расчетов скоростных режимов и времени прокатки для последующих проходов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет технико-экономических показателей

Параметры	Номер прохода								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda$	1,39	1,20	1,19	1,21	1,23	1,22	1,34	1,23	1,06



l, м	5,56	4,81	4,78	4,86	4,93	4,90	5,34	4,92	4,23
V, м/с	3,47	4,17	4,98	6,05	7,46	9,13	12,20	14,99	15,84
$\tau_{п}$ , с	1,60	1,15	0,96	0,80	0,66	0,54	0,44	0,33	0,27

Технически возможную часовую производительность определяют по формуле:

где G – масса заготовки,  $G = \rho * S_3 * l_3 = 7700 * 33 * 182,27 * 4 = 1,02 \text{ т}$  ;

T – ритм прокатки, с.

Расход металла учитывают при помощи коэффициента выхода годного проката (0,75-0,95).

С учетом выхода годного и коэффициента использования стана фактическая часовая производительность будет равна:

где  $K_{и}$  – коэффициент использования стана из практических данных принимают равным 0,85;

$K_{г}$  – коэффициент выхода годного из практических данных принимают равным 0,75.

При определении годовой производительности используем годовой фонд времени работы стана, который равен числу часов в году за вычетом времени капитального и планово-предупредительных ремонтов, фиксируемых простоев стана и т.п.

Показатели использования рабочего времени приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели использования рабочего времени

Показатель использования рабочего времени	Количество часов
Календарное время работы стана	8760
Время капитальных ремонтов (7-10 суток в год)	200
Планово-предупредительные ремонты (48 часов в месяц)	576

Номинальное время работы	7984
Текущие простои стана, в т.ч.:	1640
ремонт механического оборудования	20
ремонт электрического оборудования	20
переход и настройка стана	500
по технологии (в среднем перевалка всех клетей раз в неделю)	416

Окончание таблицы 10

Показатель использования рабочего времени	Количество часов
отсутствие металла	600
авария	50
из-за смежных цехов	20
прочие простои	14
Фактическое время работы	6344

Годовая производительность стана составляет:

где  $A_{\text{ф}}$  – фактическая часовая производительность;

$t_{\text{ф}}$  – фактическое время работы стана.

Для оценки эффективности и целесообразности проведения реконструкции произведем расчеты технико-экономических показателей после установки предложенного оборудования.

Технически возможная часовая производительность остается неизменной, так как ритм прокатки задает первая клеть, которая не была заменена в процессе реконструкции:

где  $G$  – масса заготовки,  $G = \rho \cdot S_3 \cdot l_3 = 7700 \cdot 33182,27 \cdot 4 = 1,02 \text{ т}$  ;

$T$  – ритм прокатки, с.

Расход металла будет снижен, так как новое оборудование более точное, что в свою очередь уменьшает процент брака.

С учетом выхода годного и коэффициента использования стана фактическая часовая производительность будет равна:

где  $K_{и}$  – коэффициент использования стана из практических данных принимают равным 0,90;

$K_{г}$  – коэффициент выхода годного из практических данных принимают равным 0,90.

Годовой фонд времени работы стана станет больше за счет сокращения времени простоев, а также уменьшения количества часов, требующегося на перевалку и настройку стана.

Показатели использования рабочего времени после реконструкции приведены в таблице 12.

Таблица 11 – Показатели использования рабочего времени после реконструкции

Показатель использования рабочего времени	Количество часов
Календарное время работы стана	8760
Время капитальных ремонтов	150
Планово-предупредительные ремонты	576
Номинальное время работы	8034
Текущие простои стана, в т.ч.:	524
ремонт механического оборудования	20
ремонт электрического оборудования	20
переход и настройка стана	250
по технологии	150
отсутствие металла	0
авария	50
из-за смежных цехов	20
прочие простои	14
Фактическое время работы	7510

После проведения реконструкции годовая производительность стана составляет:

где  $A_{ф}$  – фактическая часовая производительность;

$t_{ф}$  – фактическое время работы стана.

Для наглядности представим сравнительный анализ до и после реконструкции на диаграммах, изображенных на рисунках 14-16.

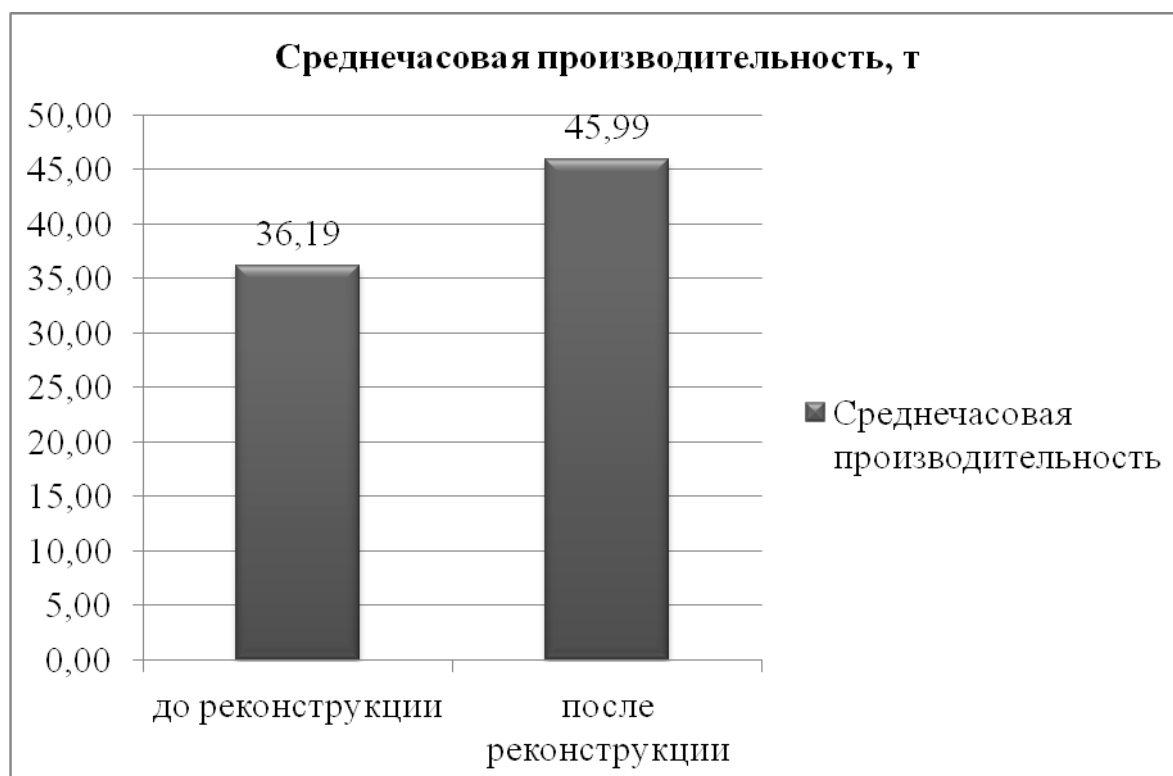


Рисунок 14 – Среднечасовая производительность, т



Рисунок 15 – Годовой фонд времени работы стана, ч



Рисунок 16 – Годовая производительность, тыс. т

### 3 Охрана труда и экология в цехе

#### 3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В прокатном цехе установлено различное основное и вспомогательное механическое оборудование, движущиеся части и узлы которого представляют определенную опасность, так как непредусмотренный контакт с ними может вызвать травмы. Это прокатные валки, манипуляторы и кантователи, рольганги, пилы и т.д. Части и узлы прокатных машин: валки, маховики, соединительные шпиндели, муфты и т.д [3].

Технологический процесс на стане характеризуется наличием избыточного конвекционного и лучистого тепла, воздействие на человека, которое возникает при нагреве заготовки. Кроме этого образуется и выбрасываются в воздух рабочей зоны оксиды железа (фиброгенное действие – Ф), оксиды углерода, азота (остронаправленного действия – О).

В связи с наличием перепада температур, на различных участках стана, возникают неблагоприятные микроклиматические условия.

Воздействие указанных факторов, на организм работающих может оказать вредное влияние на состояние здоровья. Микроклиматические условия не соответствующие нормируемым СанПин 2.2.4.548–96 могут провоцировать возникновение заболеваний, связанных с понижением общей сопротивляемости организма (простудные заболевания), периферической нервной и мышечной систем, а также суставов, вызывать сосудистые расстройства различного характера.

Перечень вредных производственных факторов представлен в таблице 11.

Таблица 12 – Перечень вредных производственных факторов

Наименование фактора	Нормативное значение	Фактическое значение
Металлическая пыль, мг/м <sup>3</sup>	4,0	4,32
СО, мг/м <sup>3</sup>	20,0	1,7
Свинец, мг/м <sup>3</sup>	0,01	0,1
Окись хрома, мг/м <sup>3</sup>	1,0	0,44

Температура воздуха:	–	–
Теплый период, С	19-26	28

Окончание таблицы 12

Наименование фактора	Нормативное значение	Фактическое значение
Холодный период, С	13-17	16
Инфракрасное излучение, Вт/м	100	120
Вибрация, dВ	92	48
Шум, dBA	80	92
Влажность, %	40-60	70
Скорость движения воздуха, м/с	0,4-0,6	0,9

## 3.2 Техника безопасности

### 3.2.1 Безопасность техпроцессов

Безопасность техпроцессов осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.3.002 «Общие требования безопасности». Безопасность техпроцессов обеспечивается на участках посадки и нагрева металла, прокатки, порезки и транспортировки.

Для безопасности работы и обслуживания оборудования предусмотрены следующие мероприятия:

- опасные зоны вблизи оборудования обнесены металлическими ограждениями и установлены предупредительные знаки;
- детали и узлы механизмов, имеющие вращение, закрыты кожухами;
- все металлические части конструкции заземляются, в соответствии с правилами устройства электроустановок;
- для защиты от теплового излучения и высоких температур воздуха применяют теплоизоляцию поверхностей источников излучения тепла, воздушное душирование, устанавливают вентиляторы [6].

Для быстрого отключения механизма главного привода клетей в аварийной ситуации установлены аварийные выключатели в виде кнопки, окрашенной в красный цвет. Для безопасной и четкой работы стана применяется селекторная система связи и сигнализация. Световая и звуковая сигнализация в опасных зонах.

Участок порезки является зоной повышенной опасности. При работе на участке, вращающиеся диски пил обязательно должны быть закрыты защитными кожухами, персонал работающий на участке обязательно должен использовать каску с защитным стеклом для предотвращения попадания искр в глаза.



### 3.2.2 Безопасность производственного оборудования

Оборудование в цехе расположено в соответствии с требованиями общих правил безопасности для предприятий и организаций металлургической промышленности. Машины и системы автоматического управления станом оборудованы предохранительными устройствами, обеспечивающими отключение при их перегрузках, при падении напряжения в сети, при снижении давления в гидро- и пневмосистемах. Во время работы стана, пил, кантователей доступ в опасные зоны не возможен, что создаётся системой блокировки и ограничений. Движущиеся и вращающиеся механизмы прокатного стана, агрегатов ограждены кожухами и щитами [6].

Для безопасного перехода людей через рольганги установлены переходные мостики, которые в местах возможного выброса металла зарыты сетками.

Границы основных проходов и проездов четко обозначены белыми линиями. В местах, где не соблюдены габариты проходов (1,5 м), вывешены предупреждающие плакаты. Все площадки на высоте более 0,6 м от пола лестницы, переходные мостики, люки ограждены перилами высотой 1 м.

Общие правила безопасности к производственному оборудованию изложены в ГОСТ 12.2.003.

### 3.2.3 Электробезопасность

Основным из мероприятий по электробезопасности в цехе, является строгое соблюдение ПТЭ и ПТБ электроустановок.

Внутрицеховая сеть выполнена из изолированных проводов в металлических трубках. Открытые части электрических устройств, доступные для соприкосновения ограждены; конструкция ограждений исключает возможность их открывания без специального инструмента.

Металлические конструкции здания, оборудования, пусковая аппаратура и другие устройства, не находящиеся под напряжением в нормальном состоянии, заземлены.

Осветительные лампы расположены на высоте не менее двух с половиной

метров от уровня пола (при меньшей высоте лампы заключены в герметичную аппаратуру).

Для безопасного проведения ремонтных работ на стане введена бирочная система на электрооборудование; предусмотрена разборка электросхем привода агрегатов перед началом их ремонта.

Все доступные для соприкосновения токоведущие части электрооборудования окрашены. Рубильники и магнитные пускатели установок помещены в глухие металлические шкафы, которые имеют заземление и запорные устройства, а также соответствующую подпись.

Все электродвигатели изготавливаются закрытого типа, так как они располагаются на рабочих местах. Рабочие, обслуживающие электрооборудование цеха имеют спецодежду и специнструмент.

Для обслуживания распределительных устройств применяются комплексы защитных средств, в который входят: изолирующая штанга, изолирующие клещи, диэлектрические боты, диэлектрические перчатки или рукавицы, резиновый коврик, переносные ограждения, указатели напряжения. Минимальный размер изолирующих ковриков 0,75×0,75м.

Универсальным и прогрессивным способом защиты является защитное отключение. Оно обеспечивает автоматическое отключение участка электрической сети в случае возникновения опасности поражения человека.

По опасности поражения электрическим током цех относится к третьей категории – особо опасная [6].

#### 3.2.4 Пожаровзрывобезопасность

В соответствии с НПБ 109-95 данный цех по пожарной опасности относится к категории Г, т.е. производство в котором обрабатываются негорючие материалы в раскаленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени.

Для предотвращения происшествий связанных с пожарной опасностью и соблюдением норм, предусмотренных ГОСТ 12.1.004-85, предлагается:

- ограничение количества образующихся в процессе хранения материалов, способных гореть и взрываться;
- создание препятствий по пути распространения пожара;
- обеспечение условий для эвакуации людей и оборудования при пожаре.

Для обеспечения безопасности эвакуации персонала, в случае пожара, в производственном помещении предусмотрены эвакуационные выходы, которые находятся в противопожарных стенах помещения.

Согласно СНиП-90-81 ширину дверей принимаем 0,8...2,4 м. Для тушения пожара применяем огнетушители: ручной пенный ОП-6; углекислотные ОУ-5. В цехе установлены ящики с песком, стенды с хранящимися на них пожарными инструментами. Для возможно более своевременного обнаружения начавшегося пожара и оповещения о нем в цехе установлена сеть пожарной сигнализации и связи. Для защиты зданий и сооружений от прямых ударов молний применяются молниеотводы. Молниеотводы имеют длину 200-250 мм, сечение 100 мм [6].

### 3.2.5 Освещение

В цехе предусмотрено естественное и искусственное освещение. Естественное освещение осуществляется через фонари и оконные проемы. Применяемое в цехе искусственное освещение делится на три системы:

- общее освещение служащее для освещения стана и других агрегатов, проходов, площадок и помещений;
- местное освещение на рабочем месте, где требуется особая точность работы, хорошая видимость. Для местного освещения при ремонтах дополнительно применяются переносные приборы освещения, напряжением 12 и 36 В.
- аварийное освещение – для эвакуации людей, освещает основные проходы и ступени машин. Оно должно быть не менее 0,5 Лк.

Комбинированное освещение – совокупность общего и местного освещения.

Общее освещение во всех проемах здания осуществляется светильниками с газоразрядными лампами, подвешенными на высоте 22,6 м в два ряда.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее и аварийное. Оно установлено у прокатного стана, нагревательных печей, в проходах, на лестницах, площадках, и соответствует требованиям СанПиН 23-09-95.

Основные требования к производственному освещению:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- обеспечивать равномерное распределение яркости на рабочей поверхности окружающих предметов;
- обеспечивать отсутствие в поле зрения резких теней;
- исключать прямую отражающую блескость;
- необходимо выбирать спектральный характер.

### 3.2.6 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения. Поэтому применяют нормирование микроклимата. Параметры нормирования зависят от периода года и категории выполняемой работы, в нашем случае «ПБ». Параметры микроклимата установлены СанПиН 2.2.4.548-96. Допустимые параметры представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Категория работ, (энергозатраты) Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность, %	l, мк	
		Диапазон				Диапазон	
		ув.опт	ум.опт			ув.опт	ум.опт
Холодный t<10 °С	ПБ 233-290	15-16,9	19,1-22	14-23	15-75	0,2	0,4
Теплый t>10 °С	ПБ 233-290	16-18,9	21,1-27	15-28	15-75	0,2	0,5

К категории ПБ относятся работающие по профессии посадчик металла, нагреватель металла, вальцовщик стана горячей прокатки, оператор стана горячей прокатки, резчик и клеймовщик горячего металла.

Влажность воздуха превышает свое нормативное значение за счет испарения технологической воды при соприкосновении с горячим металлом на участке линии стана.

Незначительного уменьшения влажности воздуха можно добиться за счет увеличения естественного воздухообмена в здании цеха за счет лучшей аэрации как наиболее неблагоприятных участков стана, так и по всему стану в целом [6].

### 3.2.7 Защита от тепловых излучений

Интенсивность теплового излучения нормируется в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Для защиты от теплового излучения и высоких температур воздуха применяются следующие коллективные теплозащитные средства:

- теплоизоляция поверхностей источников излучения теплоты на участке нагревательных печей;
- экранирование источников, либо рабочих мест, воздушное душирование на участке нагревательных печей;
- радиационное охлаждение на участке нагревательных печей;
- мелкодисперсное распыление воды на участке нагревательных печей и около линии стана;
- вентиляция или кондиционирование воздуха на участке нагревательных печей, около линии стана и на участке порезки.

### 3.3 Охрана окружающей среды

Для защиты окружающей среды на предприятиях применяют следующие меры:

- максимальное улавливание неорганических выбросов в атмосферу;
- очистку газов;
- сброс остаточного количества вредных веществ в атмосферу через централизованные трубы.

В прокатном производстве предотвращение пылевыведений на станах горячей прокатки с высокой эффективностью осуществляют без сооружений систем отсоса и очистки газов. Для этого достаточно подать струю воды в места выхода раската из валков [9].

При больших размерах проката воду подают небольшими струями.

При прокате высоколегированных сталей, когда по техническим причинам нельзя применять гидросбив пыли, отсасываемые газы следует подвергать очистке.

Надежным способом защиты окружающей среды является очистка образовавшихся сточных вод и использование их в обратных циклах производственного водоснабжения.

В настоящее время на станах горячей прокатки широко внедряют оборотное водоснабжение, которое значительно сокращает сброс сточных вод в водоем. Особенностью этой системы являются последовательное использование воды на технических участках и работы устройств гидросбива окалины на оборотной воде.

С целью обеспечения необходимого качества воды, поступающим к устройствам гидросбива окалины, работающих в условиях высоких скоростей и давлений, предусмотрена трехступенчатая система очистки воды. В нее входит яма окалины, рациональные отстойники с камерами флокуляции и сетчатые фильтры ФСФ-200.



## Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса прокатки крупносортовой стали в условиях прокатного цеха №1 ПАО «ЧМК».

В первой главе выпускной квалификационной работы были изучены современные тенденции в развитии крупносортового прокатного производства, рассмотрен сортамент крупносортовой стали, а также типы станов, используемых для его производства, выбрана технологическая схема производства от жидкого металла до готовой продукции, описан технологический процесс и оборудование прокатки на стане 780 ПАО «ЧМК».

Во второй главе выпускной квалификационной работы были произведены расчеты калибровки валков для прокатки  $\varnothing 75$  мм, энергосиловых параметров процесса прокатки, наиболее нагруженного валка на прочность, технико-экономических показателей работы крупносортовых станов.

В третьей главе было проанализировано обеспечение безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды в условиях стана 780.

В процессе анализа технологического процесса на стане были выявлены основные недостатки установленного на стане оборудования и разработаны предложения по его замене.

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



## Библиографический список

1. Антипин, В.Г. Прокатные станы: справочник в трех томах, том 1 Обжимные, заготовочные и сортопрокатные станы, издание второе, переработанное и дополненное / В.Г. Антипин, С.В. Тимофеев, Д.К. Нестеров, К.Ф. Грицук, В.А. Степанов, В.В. Пудинов, В.И. Григорьев, Е.Л. Орлов, И.Е. Пацека, В.И. Меляков. – М.: Металлургия, 1992. – 496 с.
2. Бахтинов, В.Б. Технология прокатного производства: учебное пособие для техникумов / В.Б. Бахтинов. – М.: Металлургия, 1983. – 488 с.
3. Вредные вещества в промышленности: справочник в 3-х томах / под ред. Н.В. Лазарева. – М.: Изд-во Химия, 1977.
4. Дубинский, Ф.С. Энергосиловые параметры процессов прокатки в станах сортового передела: учебное пособие / Ф.С. Дубинский, А.В. Выдрин, В.И. Крайнов, А.В. Шаламов. – Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2001. – 30 с.
5. Дукмасов, В.Г. Агеев, Л.М. Состояние и развитие технологий и оборудования в мировой черной металлургии: справочное издание / под ред. Г.П. Вяткина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 187 с.
6. Злобинский, Б.М. Охрана труда в металлургии / Б.М. Злобинский. – М.: Металлургия, 1975. – 536 с.
7. Королев, А.А. Механическое оборудование прокатных цехов черной и цветной металлургии / А.А. Королев. – М.: Металлургия, 1976. – 515 с.
8. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: учебное пособие для ВУЗов / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.А. Инатович. – М.: Металлургия, 1987. – 368 с.
9. Токовой, О.К. Экология для инженеров: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Металлургия» / О.К. Токовой. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2015. – 229 с.