

**А.Н. Смирнов, В.А. Белевитин,  
В.А. Складар, В.В. Кисиль**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ:  
ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮМОВ  
И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Челябинский государственный педагогический университет»

**А.Н. Смирнов, В.А. Белевитин,  
В.А. Скляр, В.В. Кисиль**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ:  
ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮМОВ  
И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

**Учебное пособие**

Челябинск  
2016

УДК 669(021)

ББК 34.3я73

Т 38

Технология конструкционных материалов: производство горячекатаных блюмов и сортовых заготовок [Текст]: учебное пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2016. – 188 с.: ил.

ISBN 978-5-906777-62-1

В учебном пособии рассмотрены структура и схемы прокатного производства горячекатаных блюмов и сортовых заготовок, классификация сортовых прокатных станов. Представлены основы калибровки валков сортовых прокатных станов. Приведены примеры наиболее современных технологий производства на крупно-, средне- и мелкосортных прокатных станах горячекатаных сортовых заготовок: двутавровых балок, швеллеров, стержневой арматуры, периодического профиля, простых профилей, катанки, проволоки. Представлены материалы по технологии ускоренного охлаждения Stelmor.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям «Металлургия» и «Транспорт». Приводятся иллюстрации особенностей технологических процессов производства конструкционных материалов и т.д., недостаточно полно освещённых в учебной и учебно-методической литературе.

Рецензенты: Г.А. Орлов, д-р техн. наук, профессор  
М.С. Дмитриев, д-р техн. наук, профессор

ISBN 978-5-906777-62-1

- © Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль, 2016
- © Издательство Челябинского государственного педагогического университета, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1. Системы технологий производства горячекатаного полупродукта (блюмов, заготовок) и сортового проката</b> .....	6
1.1. Структура прокатного производства .....	6
1.2. Общая характеристика заготовки для производства проката и схем её производства .....	6
1.3. Классификация сортовых прокатных станов .....	9
Контрольные вопросы .....	13
<b>Глава 2. Основы калибровки валков</b> .....	14
2.1. Сортамент простых профилей .....	14
2.2. Понятие о калибре и калибровке валков .....	15
2.3. Классификация калибров .....	17
2.4. Элементы калибра .....	22
2.5. Элементы калибровки валков .....	28
Контрольные вопросы .....	34
<b>Глава 3. Производство горячекатаных блюмов и заготовок для сортовых прокатных станов</b> .....	35
3.1. Производство горячекатаных блюмов в системе технологий «слиткового передела» .....	35
3.1.1. Блюминг: назначение, устройство и принципы использования .....	35
3.1.2. Схема расположения оборудования .....	39
3.1.3. Технология производства блюмов .....	45
3.2. Производство передельной заготовки по схеме «слиткового передела» ...	49
3.2.1. Общая характеристика заготовочных станов .....	49
3.2.2. Схема расположения оборудования заготовочного стана .....	49
3.3. Производство горячекатаной заготовки в системе технологий «МНЛЗ-заготовочный стан» .....	58
3.3.1. Технологическая схема производства .....	58
3.3.2. Подготовка металла к прокатке .....	59
3.3.3. Схема расположения и характеристики оборудования .....	62
3.3.4. Технология производства заготовки .....	69
Контрольные вопросы .....	76
<b>Глава 4. Производство сортового проката</b> .....	78
4.1. Производство железнодорожных рельсов .....	78
4.1.1. Рельсобалочные станы .....	78
4.1.2. Технология производства рельсов .....	85

4.1.3. Система технологий финишной обработки проката .....	92
4.2. Производство крупных сортовых профилей .....	99
4.2.1. Общая характеристика крупносортовых станов .....	99
4.2.2. Характеристика полунепрерывного среднесортного стана 550-2 ПАО «Евраз - ДМЗ им. Петровского» .....	100
4.2.3. Сортамент, прокатка и калибровка двутавровых балок .....	106
4.2.4. Сортамент, прокатка и калибровка швеллеров .....	109
4.3. Производство проката на среднесортных станах .....	116
4.3.1. Общая характеристика среднесортных станов .....	116
4.3.2. Среднесортный непрерывный стан 390 МФ ПАО «ЕМЗ» .....	119
4.4. Производство арматурной стали периодического профиля .....	135
4.4.1. Классификация и стандартизация профилей стержневой арматуры .....	135
4.4.2. Калибровка арматурной стали периодического профиля .....	139
4.4.3. Многоручьевая прокатка-разделение .....	142
4.4.4. Технология термического упрочнения движущихся арматурных прутков в потоке стана .....	146
4.5. Производство проката на комбинированных станах .....	151
4.5.1. Характеристика мелкосортно-проволочных станов .....	151
4.5.2. Одноточный непрерывный мелкосортно-проволочный стан 250/150-6 ПАО «АрселорМиттал Криворожсталь» .....	153
4.5.3. Одноточный непрерывный сорто-проволочный агрегат 400/200 ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Дзержинского» .....	161
4.6. Производство простых профилей на мелкосортных станах .....	167
4.6.1. Характеристика профилепрокатных мелкосортных станов .....	167
4.6.2. Непрерывный мелкосортный стан 250-5 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь» .....	167
4.6.3. Схемы прокатки простых профилей в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-5 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь» .....	177
Контрольные вопросы .....	184
<b>Библиографический список .....</b>	<b>186</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных в машиностроении и металлообработке является технологический процесс обработки металлов давлением (ОМД), который является в металлургическом производстве заключительным переделом. Данное обстоятельство накладывает особые требования к совершенствованию традиционных технологий ОМД, проектированию и развитию новых методов обработки, технологий конструкционных материалов. Одна из главных задач при разработке новых технологий и развитии любого производства – проектирование, оптимизация перспективных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих производство продукции с минимально возможным потреблением топлива и других источников энергии, а также сырья, материалов, воздуха, воды и прочих ресурсов для технологических целей.

В теории ОМД накоплен значительный экспериментальный материал. В большом разнообразии технологических схем, основанных на обработке давлением, можно выделить общие подходы к анализу деформации металла на примере нескольких наиболее распространенных в металлургии видов обработки давлением. Особая роль при этом принадлежит наиболее современным технологиям производства на крупно-, средне- и мелкосортных прокатных станах горячекатаных сортовых заготовок: двутавровых балок, швеллеров, стержневой арматуры, периодического профиля, простых профилей, катанки. В обеспечение необходимости создания прогрессивных технологий конструкционных материалов по выпуску конкурентноспособной продукции рассмотрены совмещенные технологические процессы литья стали и обработки её давлением с применением основного технологического оборудования прокатных станов, отвечающего последним достижениям мирового машиностроения, обеспечивающего ведение технологического процесса с минимальным обслуживающим персоналом, позволяющего производить низкую по себестоимости продукцию мирового качества и успешно конкурировать на мировом рынке металлургической и машиностроительной продукции.

Изложенный и подробно проиллюстрированный в учебном пособии материал по современным технологиям производства на крупно-, средне- и мелкосортных прокатных станах горячекатаных сортовых заготовок с освещением сортамента профилей, основных операций и оборудования прокатных цехов позволяет повысить эффективность, усвоения учебного материала, способствует формированию знаний, общих и профессиональных компетенций у обучающихся по направлениям «Металлургия» и «Транспорт», облегчает работу преподавателей.

# ГЛАВА 1.

## СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПОЛУПРОДУКТА (БЛЮМОВ, ЗАГОТОВОК) И СОРТОВОГО ПРОКАТА

### 1.1. Структура прокатного производства

Основными видами продукции прокатного производства является сортовой и листовой прокат, на долю которых приходится примерно до 82 % всей выплавляемой в мире жидкой стали. Около 13 % жидкой стали используется в литейном производстве и около 5 % – при производстве крупных поковок. В дальнейшем полученный прокат перерабатывается как обработкой давлением, так и механической обработкой по самым разнообразным технологическим схемам [1].

На рис. 1.1 приведена общая структура современного производства сортового и листового проката на крупном предприятии черной металлургии. Реальные металлургические комбинаты и заводы необязательно содержит все представленные в схеме производства виды проката, одни из которых специализируются на выпуске только сортового проката, другие – на производстве листового проката. Ряд крупных предприятий черной металлургии выпускают оба вида проката.

### 1.2. Общая характеристика заготовки для проката и схемы её производства

В соответствии с представлениями, сложившимися на рубеже XX и XXI веков, производство проката осуществляется в два этапа. На первом получают полуфабрикат: блюм или заготовку для производства сортового металла и сляб для производства листа, из которых на втором этапе получают готовый прокат. Интенсивное развитие процессов непрерывной разливки в последней четверти XX столетия обусловило необходимость изменения ранее сложившихся определений того, что называется блюмом, а что заготовкой [2]. В современной трактовке блюмом называется полоса квадратного или почти квадратного сечения с площадью, равной или большей площади сечения 200x200 мм. Все меньшие сечения называются заготовкой.

Блюм может быть изготовлен по двум технологическим схемам. В первом случае блюмы получают по классической схеме (рис. 1.2): прокаткой на блюминге из слитка массой от 7 до 13 т (для углеродистых марок стали). По второй технологической схеме блюм требуемого сечения отливается на установках непрерывной разливки стали (УНРС) в сталеплавильном цехе (рис. 1.3). В настоящее время чаще применяют равнозначное название такой установки – «машина непрерывного литья заготовки» (МНЛЗ).

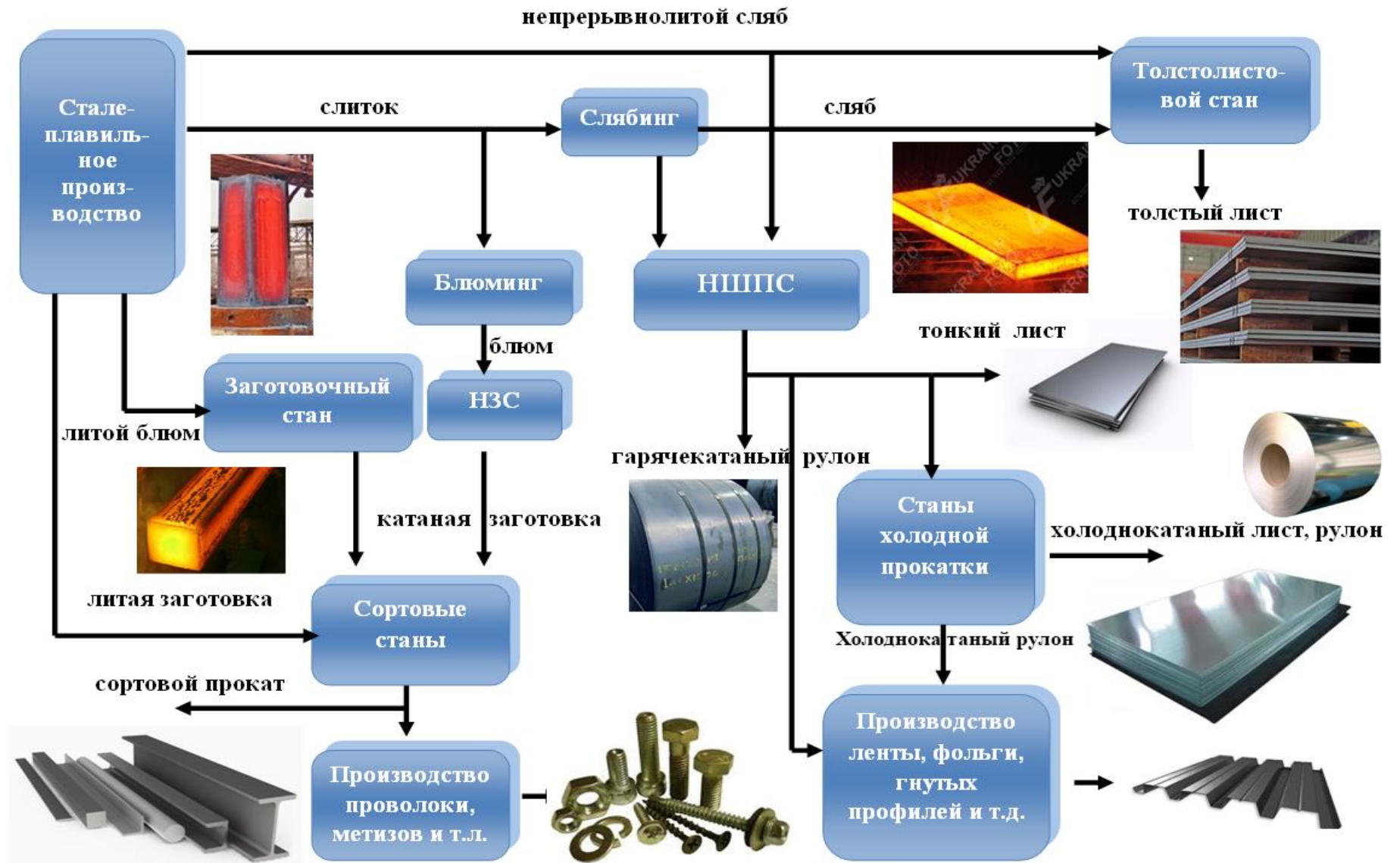


Рис. 1.1. Обобщенная схема производства сортового и листового проката



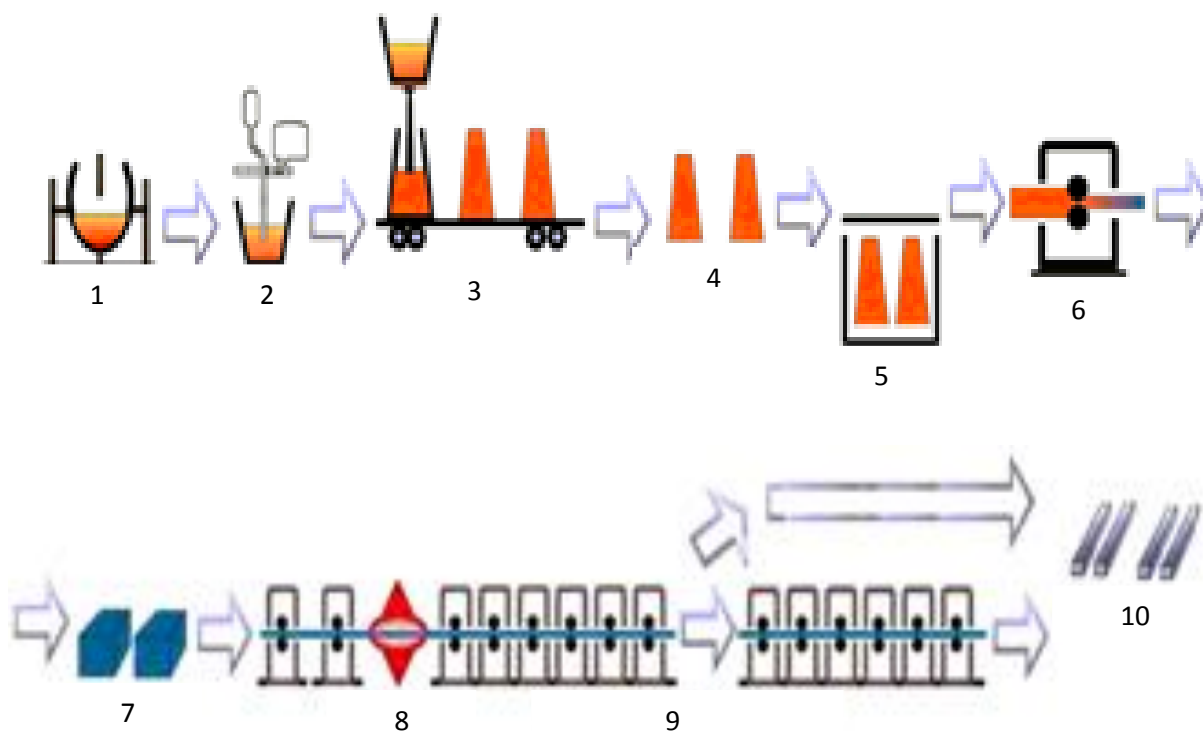


Рис. 1.2. Классическая технологическая схема производства блюмов и сортовой заготовки [3]:

- 1 – конвертер; 2 – установка комплексной доводки стали; 3 – разливка стали в изложницы; 4 – стрипширование слитков; 5 – нагревательные колодцы;
- 6 – блюминг; 7 – bloom; 8 – машина огневой зачистки;
- 9 – непрерывно-заготовочный стан; 10 – заготовка

В случае дальнейшего использования заготовки для производства проката ответственного назначения более предпочтительной следует считать схему её получения из непрерывнолитого bloom (рис. 1.4) путем прокатки последнего на заготовочном стане.

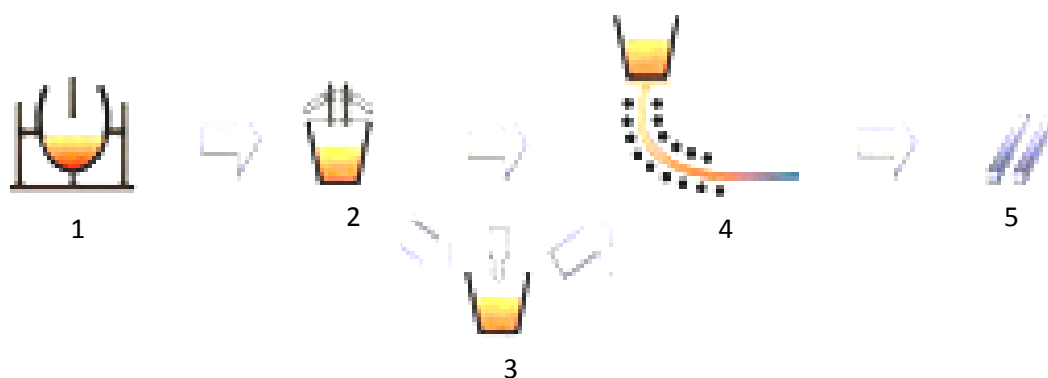


Рис. 1.3. Технологическая схема производства блюмов и сортовой заготовки отливкой на МНЛЗ [3]:

- 1 – конвертер; 2 – печь-ковш; 3 – вакууматор; 4 – сортовая МНЛЗ; 5 – заготовка

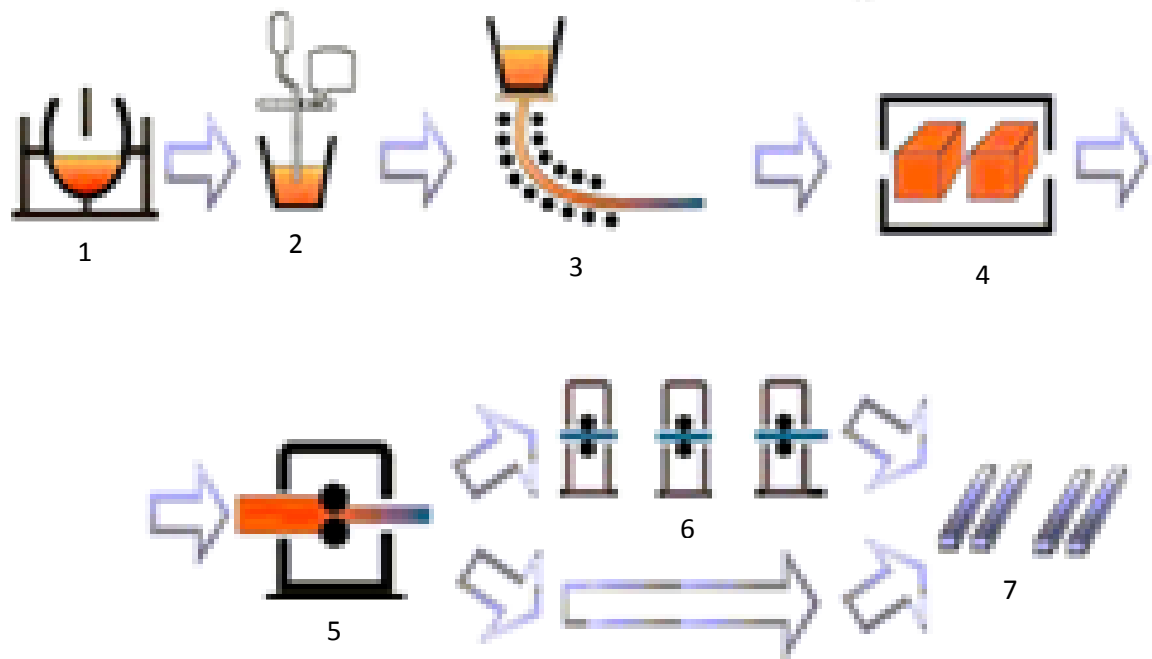


Рис. 1.4. Технологическая схема производства сортовой заготовки отливкой блома на МНЛЗ и его прокатки в сортовую заготовку [3]:  
 1 – конвертер; 2 – установка комплексной доводки стали; 3 – блюминговая МНЛЗ; 4 – методическая печь; 5 – блюминг; 6 – заготовочный стан; 7 – заготовка

### 1.3. Классификация сортовых прокатных станов

Классификация сортовых прокатных станов по назначению и их сортаменту представлена в табл. 1.1. По числу и расположению валков в рабочих клетях различают: двухвалковые (дуо) и трёхвалковые (трио) клетки с горизонтальным расположением валков, которые могут быть как реверсивными (дуо), так и нереверсивными (дуо и трио) [4].

На сортовых станах применяют также универсальные четырёхвалковые (два горизонтальных и два вертикальных валка) и трёхвалковые клетки [4], схема расположения валков которых показана на рис. 1.5.

В зависимости от расположения рабочих клетей прокатные станы разделяют на пять групп [5]: одноклетьевые, линейные, многоклетьевые, последовательные, полунепрерывные и непрерывные (рис. 1.6).

Одноклетьевые станы имеют одну рабочую клеть. Линия привода валков состоит:

- в случае индивидуального привода каждого из рабочих валков: из шпинделей, муфт и главных электродвигателей;

- в случае привода рабочих валков от одного электродвигателя (рис. 1.6а): из шпинделей, шестеренной клетки, редуктора, муфт и главного электродвигателя. К станам этой группы относят блюминги и слябинги.

**Классификация сортовых прокатных станов  
по назначению и их сортамент**

Тип стана	Диаметр валков, мм	Сортамент проката					
		Круглая сталь диаметром, мм	Квадратная сталь со стороной, мм	Полосовая сталь шириной, мм	Угловая равнополочная сталь, мм	Балки двутавровые, номер	Швеллеры, номер
Рельсобалочный	700-900	75-150	215-230	Рельс Р50-Р65	Z-профиль: Z -310	24-40	20-30
Крупносортный	500-800	70-200	70-200	350	200×200	16-30	16-30
		50-120	50-120	300	150×150	10-20	10-20
Среднесортные	300-550	30-100	30-90	200	100×100	10-12	6,2-12
		25-75	25-75	150	90×90	10	5-10
Мелкосортные	250-350	16-60	16-50	100	60×60	-	5-6,5
		8-30	8-30	65	40×40	-	-
Проволочные	150-250	Катанка диаметром 5,5-12,0 мм					

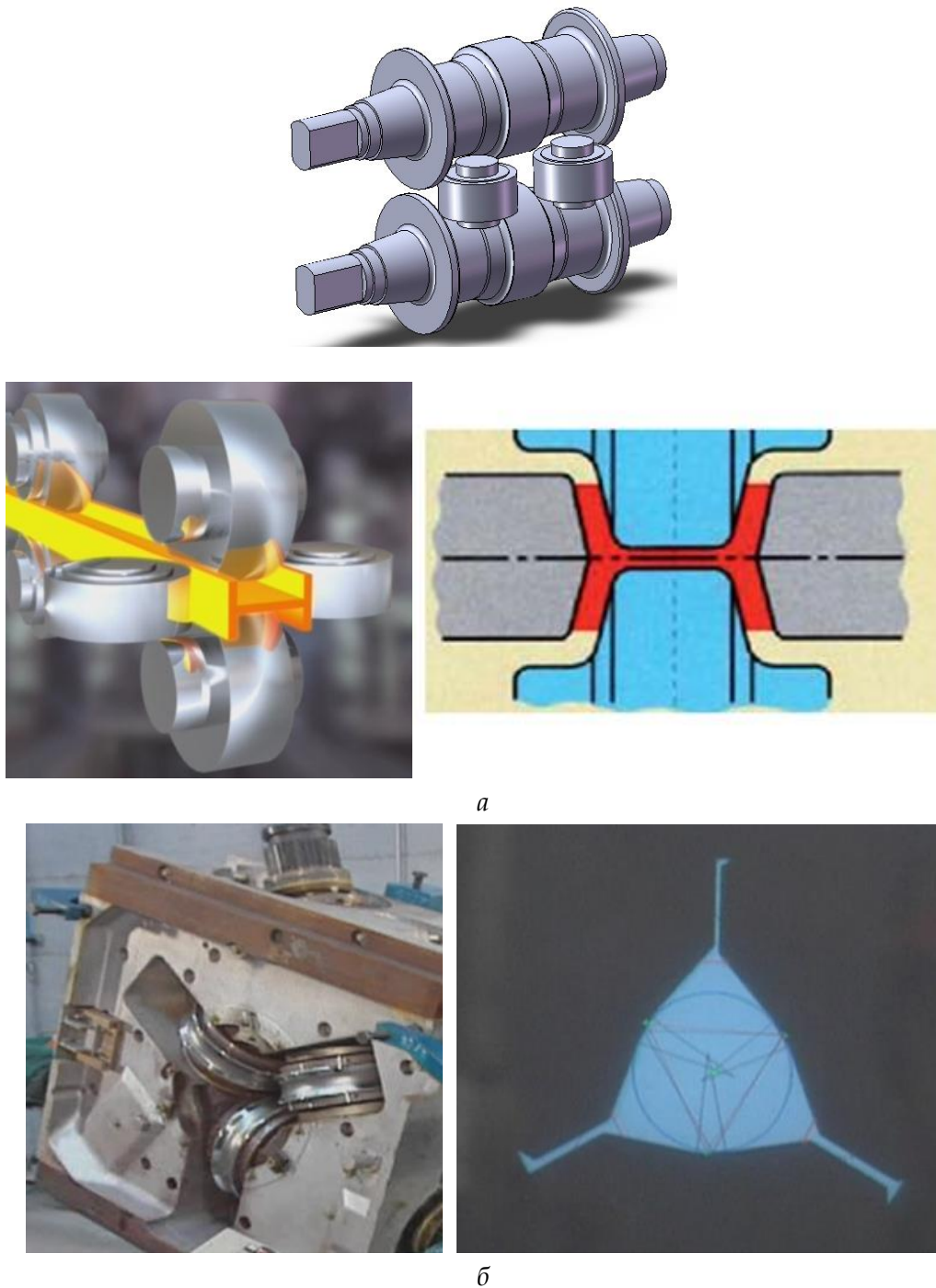


Рис. 1.5. Схема расположения валков и раскатов в четырёх- (а) и трёхвалковых клетях (б)

Рабочие клетки линейных станов расположены в одну, две, три и более линий, причем каждая линия работает от отдельного привода, или несколько линий – от одного электродвигателя. Станы этого типа нереверсивные. Их применяют как проволочные, сортовые и рельсобалочные.

В последовательных станах прокатываемая полоса в каждой клетке проходит один раз. Поэтому число клеток такого стана равно максимальному числу проходов, необходимых для обжатия заготовки сечением  $F_0$  в готовый профиль сечением  $F_1$ . Для сокращения длины цеха и лучшего использования его площади клетки обычно

располагают в несколько параллельных рядов. Станы данной группы имеют высокую производительность и их широко применяют для прокатки сортовых профилей [5].

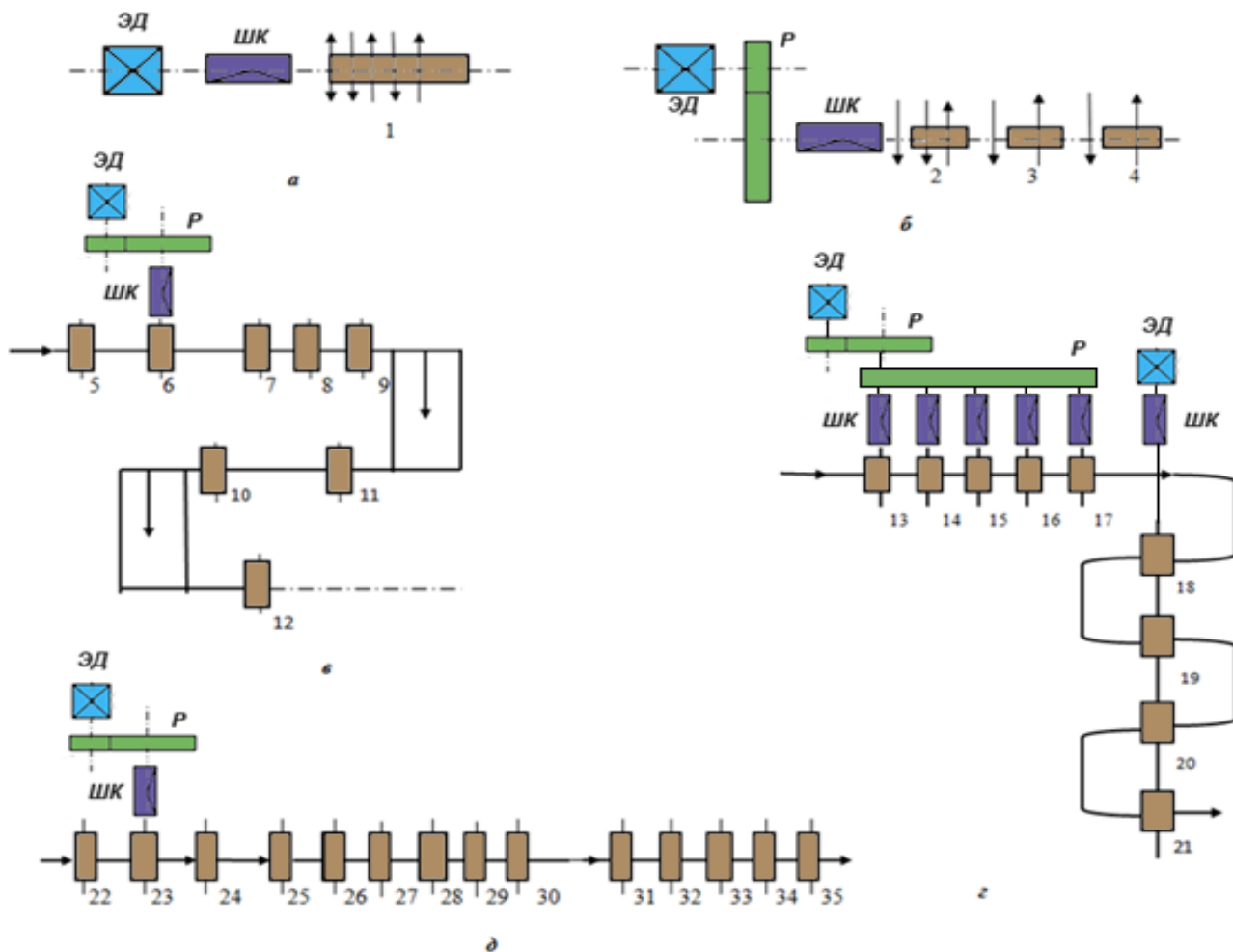


Рис. 1.6. Схема расположения рабочих клеток:

а - одноклетьевого; б - линейного; в - последовательного; г - полунепрерывного; д - непрерывного стана; 1-35 - рабочие клетки; ЭД - главный электродвигатель; ШК - шестерённая клетка; Р - редуктор

Полунепрерывные станы состоят из двух групп клеток: непрерывной и линейной. В одной группе клеток полоса прокатывается непрерывно, т.е. она может находиться одновременно в двух и более клетях. В другой группе прокатка осуществляется по принципу линейных и последовательных станов. Эти станы применяют для прокатки мелкого сорта, проволоки и полос.

При прокатке на непрерывном стане металл находится одновременно в нескольких клетях. Поэтому скорость вращения валков в клетях должна регулироваться и подбираться так, чтобы расход металла в единицу времени в любой клетке был постоянным [6]:

$$F_1 \cdot V_1 = F_2 \cdot V_2 = \dots = F_n \cdot V_n = const., \quad (1.1)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – поперечное сечение металла при выходе из первой, второй и последней клетки;  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – скорости полосы на выходе из валков этих клеток.

Для этого типа станов характерна очень большая производительность. Их применяют как станы заготовочные, среднесортные, мелкосортные и проволочные. Привод валков этих станов может быть групповым (несколько клеток приводятся от одного двигателя) или индивидуальным [5].

### **Контрольные вопросы**

1. Сколько этапов реализуется при производстве проката?
2. Что называется в современной трактовке блюмом, слябом, заготовкой?
3. Опишите классическую схему производства блюма?
4. Какая схема производства заготовок более предпочтительная при производстве проката ответственного назначения?
5. Какие классификации применяются для сортовых прокатных станов?
6. Какие группы прокатных клеток характерны для сортовых станов?
7. Назовите типы сортовых прокатных станов.
8. Какие схемы расположения рабочих клеток применяются у сортовых прокатных станов?
9. Для какого типа сортовых прокатных станов характерна наибольшая производительность?

## ГЛАВА 2. ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

### 2.1. Сортамент простых профилей

Сортамент – перечень изделий. Сортаментом в обработке металлов давлением называют перечень изделий, получаемых методами пластической деформации. Профилем называют поперечное сечение прокатываемой полосы (раската).

Общий сортамент прокатных профилей подразделяют на различные, по основным признакам, группы (рис. 2.1).

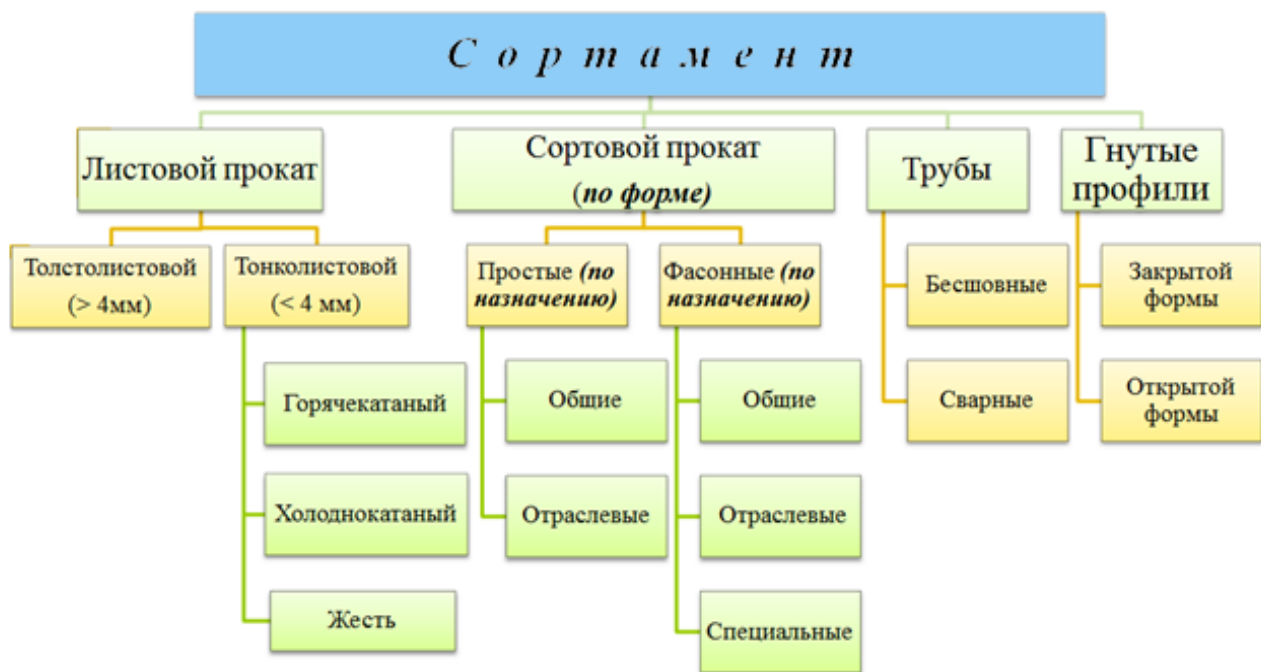


Рис. 2.1. Общий сортамент металлопроката

Сортаментом прокатной продукции называют совокупность профилей, размерных рядов, марок стали, гарантированных нормативов по качеству и включенных в специализацию прокатных станов.

Сортамент прокатных профилей стандартизирован. Основные требования к прокатным профилям, а именно, к форме, размерам, допускаемым отклонениям от номинальных размеров, к условиям поставки и другие сведены в особые обязательные документы – Государственные стандарты (ГОСТ), технические условия (ТУ), а также отраслевые стандарты (ОСТ) [8].

Сортовая сталь является одним из основных видов проката и находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства для изготовления деталей машин, станков, строительных конструкций и т.д. В структуре удельного веса отдельных видов готового проката, производимого на металлургических предприятиях большинства стран, наибольшая доля приходится на продукцию листопрокатных

цехов (0,35–0,40 долевых единиц), крупного и мелкого сорта (0,25–0,30 долевых единиц) и катанки (0,07–0,10 долевых единиц)

В зависимости от назначения сортовой прокат делят на профили общего и отраслевого назначения с простой геометрической формой поперечного сечения (круглая, квадратная, полосовая и т.д. – рис. 2.2а) и фасонные профили общего (сталь угловая, швеллеры, двутавры и т.д. – рис. 2.2б), отраслевого (рельсы, автомобильный обод и т.д. – рис. 2.2в) и специального назначения [9].

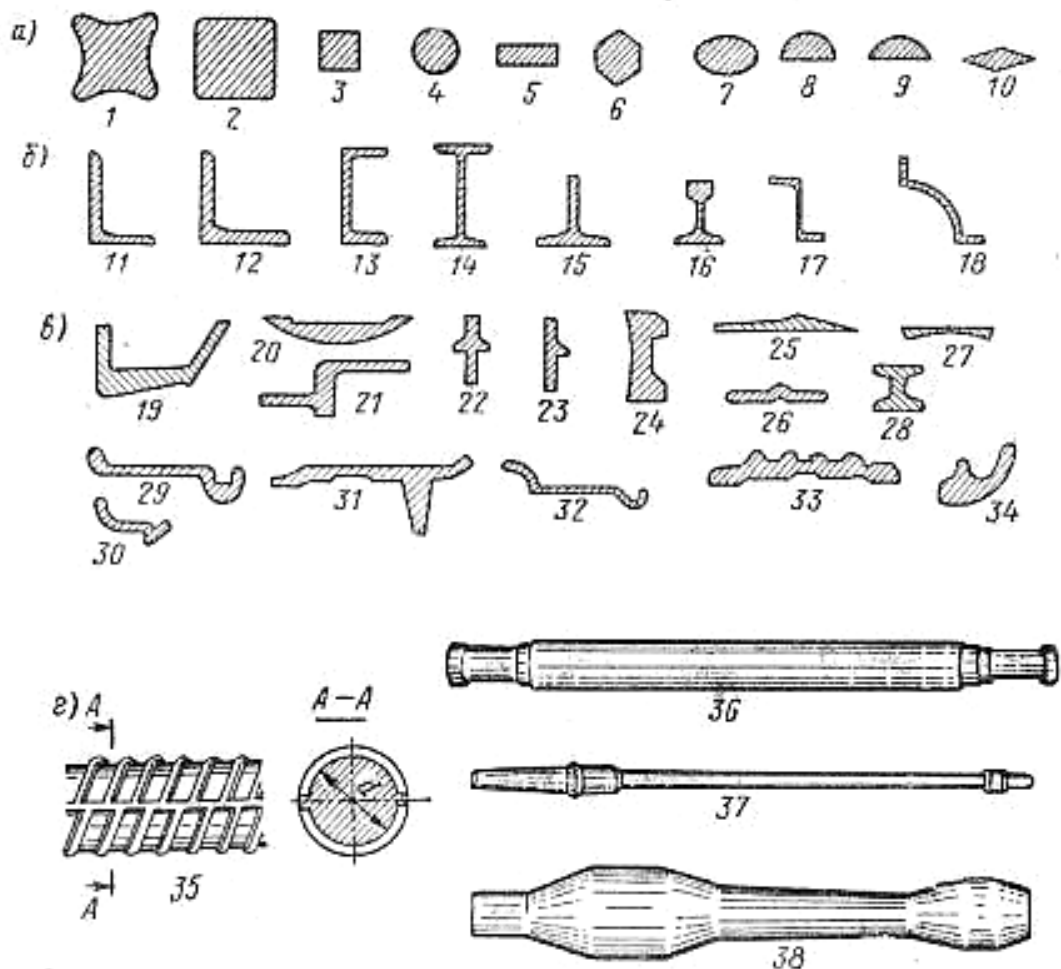


Рис. 2.2. Виды сортового проката:

а – прокат общего назначения; б – фасонный общего назначения;  
в – отраслевого назначения; г – периодические профили

Отдельный вид сортового проката составляют периодические профили (рис. 2.3).

## 2.2. Понятие о калибре и калибровке валков

Способы последовательного рационального изменения размеров поперечного сечения слитков, блюмов или заголовков в профили заданной формы и размеров составляют наиболее сложную и самую важную часть технологического процесса прокатки.



Постепенное пластическое формоизменение исходной заготовки с одновременным уменьшением площади её поперечного сечения, вплоть до получения готового профиля, производится на гладкой бочке прокатных валков (рис. 2.3а) или в калибрах ручьевых валков (рис. 2.3б).

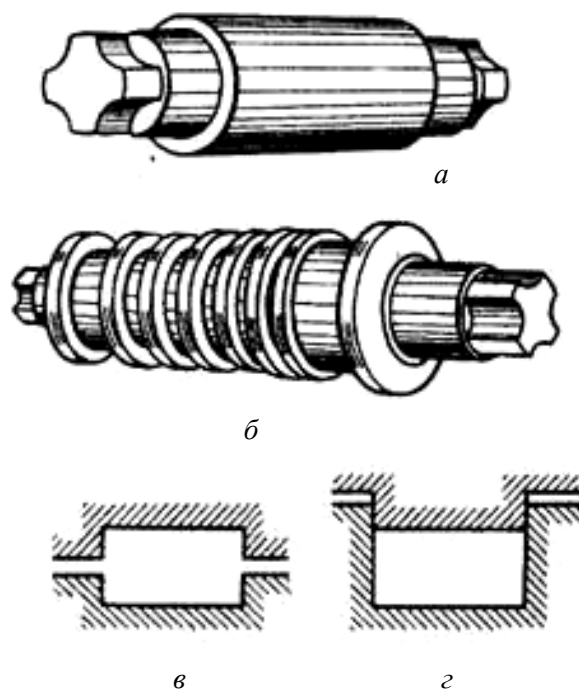


Рис. 2.3. Прокатные валки:

*а* – гладкий; *б* – калиброванный; *в* – открытый калибр; *г* – закрытый калибр

В технологии прокатки особой и весьма важной составляющей является калибровка прокатных валков, основанная на законах пластической деформации металлов и являющаяся основой технологии прокатки [8].

Основная задача калибровки валков – получение проката с заданной формой и размерами поперечного сечения при хорошем качестве поверхности и с требуемыми физико-механическими свойствами. Калибровка валков должна обеспечивать наибольшую производительность стана, равномерное распределение силовых параметров по проходам, минимальный расход энергии, наименьший износ валков, надежный захват металла валками, устойчивое положение раската в валках и возможность прокатки профилей широкого сортамента.

Калибровка валков сортовых станов основана на использовании инженерных методов расчета формоизменения металла, энергосиловых, температурных и скоростных параметров прокатки, выбора формы и определения размеров калибров, обеспечивающих заданные технологические параметры и устойчивое положение раската при прокатке, а также на принципе расположения необходимого количества калибров на валках прокатного стана.

Понятие калибровки валков включает расчет технологических параметров, определение количества, формы и размеров калибров, а также их размещение на валках стана. Калибром в прокатном производстве называют просвет, образованный вырезами (ручьями) двух сопряжённых прокатных валков, а также зазорами между ними в их рабочем положении в прокатной клетке. Для каждого прокатного профиля на валках делают несколько калибров, при последовательном прохождении через которые поперечное сечение исходной заготовки приобретает требуемые форму и размеры.

Ручьем называется кольцевой вырез или выступ любой формы на бочке одного валка (рис. 2.4, 1). Два ручья – верхнего и нижнего валков и зазор между валками составляют калибр (рис. 2.4, 2).

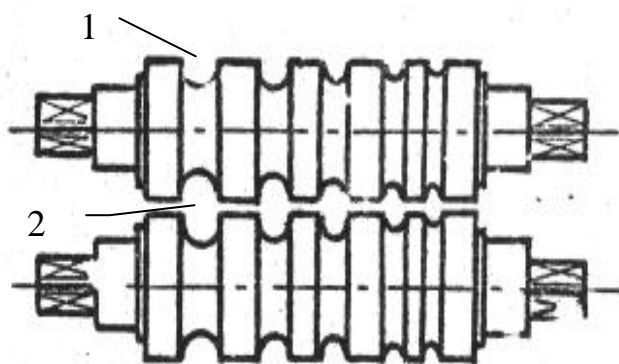


Рис. 2.4. Элементы калибровки ручьевых валков:  
1 – ручей; 2 – калибр

В настоящее время калибр может быть образован несколькими валками, так как применяют специальные прокатные клетки с тремя и более валками. Промежутки между ручьями называются буртами.

### 2.3. Классификация калибров

Все виды калибров можно классифицировать по трем признакам: по форме, по назначению, по конструкции.

По форме калибры могут быть:

- простой формы поперечного сечения: прямоугольными (ящичными), квадратными (ящичными или диагональными), ромбическими, овальными, круглыми и т.д. (рис. 2.5 а-е). Как правило, их применяют в качестве обжимных, вытяжных калибров;

- сложной формы (конфигурации) поперечного сечения, используемых при прокатке фасонных профилей: угловой и швеллерной стали, двутавровых балок, рельсов и т.д.) (рис. 2.6 а-в).

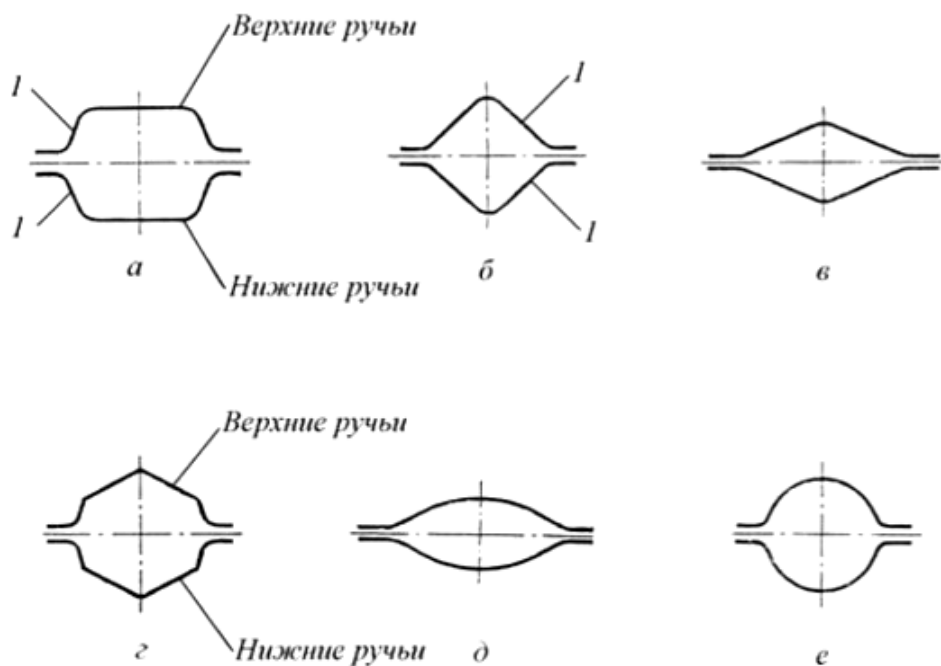


Рис. 2.5. Классификация калибров по форме:  
 (а-е) – простой формы поперечного сечения с двумя осями симметрии:  
 а – ящичный (квадратный или прямоугольный); б – квадратный диагональный;  
 в – ромбический; з – шестигранный; д – овальный; е – круглый

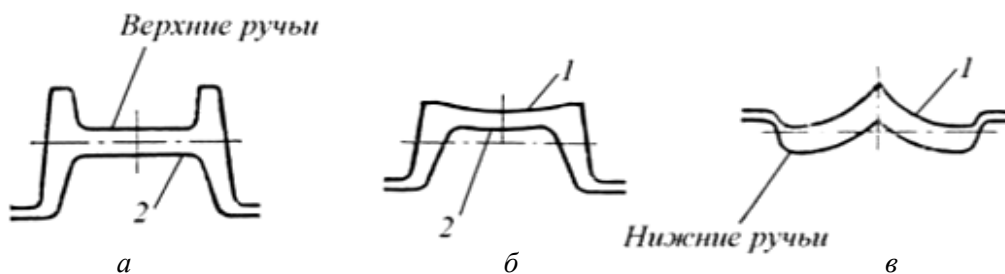


Рис. 2.6. Калибры фасонные, сложной формы поперечного сечения с одной осью симметрии:  
 а – балочный; б – швеллерный; в – угловой развернутый;  
 1 – ручки в виде впадин; 2 – ручки в виде выступов (гребни)

Форму калибров характеризуют также по наличию или отсутствию осей симметрии [27]:

- с двумя осями симметрии (полной симметрией) – круглые, квадратные, прямоугольные и др.;
- с одной осью симметрии;
- угловые, швеллерные, рельсовые;
- ассиметричные, т.е. не имеющие осей симметрии: автомобильного обода, лемеха, полособульбовые профили и др.

Как видно из вышеприведенной классификации, все калибры образуются на базе какой-либо простой или сложной геометрической фигуры. В то же время по техническим причинам они всегда, в большей или меньшей степени, отличаются от базиса. Однако калибры, как правило, принято называть по названию базисной фигуры.

Калибры сложной формы при калибровке так же, как и профиль раската, условно делят на элементы простой формы. Например, двутавровый балочный калибр условно делят на ручки, обрабатывающие полки профиля и стенку.

По назначению различают калибры:

- обжимные, заготовочные или вытяжные;
- черновые или подготовительные;
- предчистовые или предотделочные;
- чистовые или отделочные калибры.

Обжимные или вытяжные калибры предназначены для первичной энергичной деформации заготовки (слитка, блюма, фасонной заготовки) в процессе уменьшения ее поперечного сечения и получения черного раската, из которого в дальнейшем получают готовый профиль. Эти калибры выполняют простой формы, чаще всего на базе прямоугольника, ромба, квадрата, овала или других простых геометрических фигур.

Черновые калибры предназначены для последовательного постепенного приближения черного профиля (в ряде случаев – исходного сечения заготовки) в процессе прокатки к форме конечного профиля заданных размеров. К черновым, при прокатке профилей простой формы, относят калибры или системы калибров простой формы поперечного сечения: ящичные, ромб-квадрат, овал-квадрат и т.д., а при прокатке профилей сложной конфигурации поперечного сечения – калибры различной формы и размеров, расположенные после обжимных, в том числе и разрезных, вплоть до предчистового. Эти калибры располагают в такой последовательности (образуют системы), чтобы обеспечить максимальную вытяжку раската. Черновые калибры врезают в черновые и промежуточные группы клетей станов.

Предчистовые или предотделочные калибры предназначены для получения в предпоследнем пропуске такой формы и размеров раската, чтобы в следующем чистовом калибре (пропуске) обеспечить необходимые размеры готового профиля. При этом при прокатке большинства простых профилей (круглой, квадратной стали и т.д.) предчистовые калибры резко отличаются по форме от чистовых и готового профиля и предназначены для подготовки отдельных элементов готового профиля. Например: в ромбическом формируются два угла квадратного профиля; в овальном – подготовка очертания готового круга. При прокатке фасонных профилей в качестве предчистовых применяют калибры по размерам незначительно отличающиеся от чистовых, что способствует повышению точности готового профиля.

Чистовые или отделочные калибры предназначены для получения в последнем пропуске готового профиля заданных размеров в горячем состоянии. При этом

размеры чистового (последнего) калибра рассчитывают с учетом размеров готового профиля [27]. По форме чистовые калибры соответствуют форме готового профиля.

По конструкции, т.е. по расположению в валках (рис. 2.6) различают калибры: открытые, закрытые, полузакрытые и диагональные (косорасположенные).

Как видно (рис. 2.7), калибры образуются ручьями двух валков и поэтому в каждом имеется разъем (раздел).

Раздел калибра (разъем) – это участок, на котором профиль калибра переходит от одного ручья на другой. В зависимости от характера разъема различают открытые, закрытые или полузакрытые калибры.

Открытыми называют калибры (рис. 2.7*а*), разъем которых находится в пределах контура калибра, примерно посередине. Обычно это калибры с полной симметрией. Например: ящичные, диагональные, квадратные и некоторые другие калибры. Однако исключение составляют открытые двутавровые, например, открытые балочные калибры (рис. 2.7 *б-в*), у которых разъем валков находится в пределах очертания профиля, но ручьи для обработки верхней и нижней пар полок образованы одним валком сверху и одним валком снизу, т.е. и верхний и нижний ручьи закрытые.

Закрытыми называют калибры (рис. 2.7 *г, д, ж, з*), разъем которых перпендикулярный или почти перпендикулярный оси валков, расположен сверху или снизу, или по диагонали снизу и сверху, а выступ одного валка проникает в ручей другого. Другими словами – когда линия раздела валков расположена за пределами очертания калибра. Чаще всего это калибры для прокатки фасонных профилей.

Исключение представляют черновые балочные (рис. 2.7 *г-д*) и рельсовые калибры, разъем которых находится за пределами очертания калибра (закрытые). В этих калибрах, несмотря на то что разъем валков за пределами очертания профиля, одна пара ручьев, обрабатывающих одну пару полок раската, образована двумя валками – открытые ручьи, а другая – врезана в один валок и является закрытой частью калибра [27].

В закрытых балочных калибрах разъем находится за пределами очертания профиля, и его чередуют в смежных калибрах то сверху, то снизу (или меняют диагональ) с целью получения полок профиля одинакового размера (кантовка калибровкой), т.к. при деформации полки в закрытых ручьях происходит утяжка их по высоте, а в открытых ручьях – приращение (уширение) высоты полок вследствие бокового обжатия.

В закрытых угловых развернутых калибрах место раздела (разъема) также чередуется для хорошей проработки металла кромок полок, сохранения их температуры в общем и для улучшения качества профиля.

Различают также полузакрытые калибры (рис. 2.7*е, к*) у которых разъем валков располагают на определенной высоте боковых стенок профиля [8]. При этом наружные грани профиля обрабатываются двумя валками.

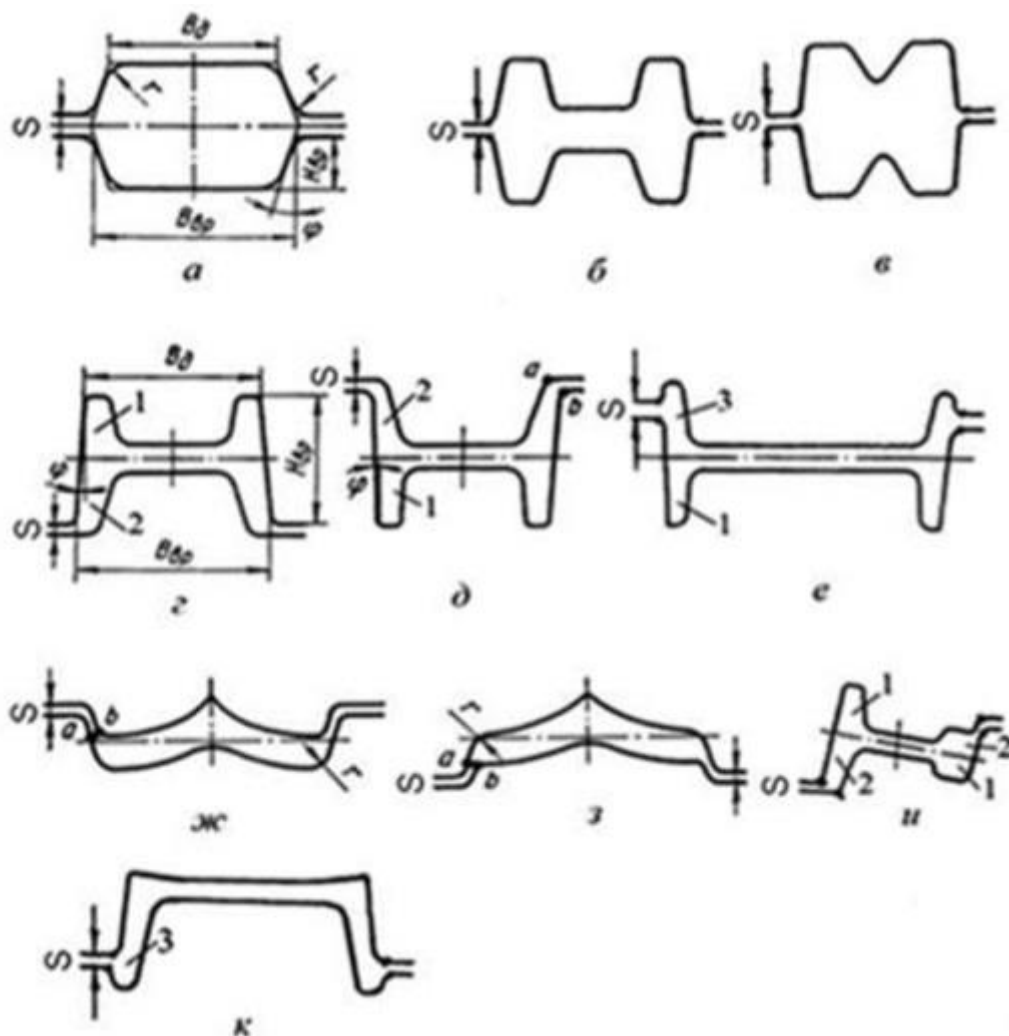


Рис. 2.7. Классификация калибров по расположению в рабочих валках:  
*a* – открытый прямоугольный ящичный калибр с разъемом валков в пределах (посередине) очертания профиля; *б* и *б'* – открытые балочные калибры с разъемом валков в пределах (посередине) очертания профиля с широкими тупыми (*б*) и острыми (*б'*) гребнями; *г* и *д* – закрытые балочные калибры с разрезами валков за пределами очертания профиля с закрытыми (1) и открытыми (2) ручьями; *е* – закрытый балочный калибр с закрытыми (1) и полузакрытыми (3) ручьями в пределах очертания полок профиля; *ж* и *з* – закрытые угловые калибры с разрезами валков за пределами профиля; *и* – рельсовый наклонный к горизонтали (косорасположенный) закрытый калибр с разъемом валков по диагонали (накрест); *к* – полузакрытый швеллерный калибр с разъемом валков в пределах очертания профиля (3)

Диагональные калибры (рис. 2.7*и*) располагают (врезают) под некоторым углом к осевой линии валков, а разъем калибра располагают по диагонали. При этом наклон калибров и разрезы чередуют в смежных калибрах в одну, а затем в другую сторону.

На некоторых сортовых станах при прокатке двутавровых балок в предчистовом калибре с целью лучшего контроля ширины полок, в отличие от обычного закрытого балочного калибра, открытый ручей делают полузакрытым (рис. 2.7*е*) с разъемом на боковой стенке калибра, как в швеллерном контрольном полузакрытом калибре.

Разработка калибровки валков является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать закономерности формоизменения металла, силовые условия, условия трения, температуру металла, прочность оборудования и мощность приводов, а также ряд других факторов. Таким образом, проектирование рациональной калибровки требует системного подхода, в соответствии с которым ее можно рассматривать как информационную систему, имеющую вход, выход, ограничения и обратные связи (рис. 2.8).

Входом является информация для расчета калибровки валков: форма и размеры готового профиля, марка стали, технические характеристики стана и т.д.

Выходом являются результаты расчета калибровки валков, удовлетворяющие определенным критериям, в качестве которых могут быть приняты максимальная производительность, минимальное число проходов, минимальный расход энергии и др.

Для обеспечения соответствия между результатами расчета и установленными требованиями служит обратная связь, которая в случае невыполнения требований воздействует на вход.

Ограничения обеспечивают выполнение требований, лимитирующих ход процесса. Так, это могут быть условия захвата металла валками, устойчивость раската в калибре, мощность приводов, качество металла и ряд других параметров. Невыполнение какого-либо из ограничений вызывает необходимость воздействия на вход системы и последующий перерасчет всего процесса.

В соответствии с методологией системного анализа расчет калибровки валков может быть разделен на ряд подсистем, каждая из которых имеет свой вход и выход, обратные связи и ограничения. При этом каждая из предыдущих подсистем служит входом для последующих, и таким образом осуществляется взаимосвязь всех подсистем в единую систему проектирования калибровки валков [9].

## 2.4. Элементы калибра

К основным элементам калибра (рис. 2.9) относят: размеры по высоте и ширине, глубину вреза ручьев, выпуски (уклоны) боковых стенок, зазор между буртами валков, закругления на стенках калибра и буртов.

### *Зазор между буртами или разъем калибра*

Калибр, как отмечено выше, образован двумя и более ручьями.

Разъем калибра – это участок, на котором профиль калибра переходит от одного ручья на другой в пределах или за пределами очертания профиля [27].

Зазор между буртами валков ( $S$ ) при прокатке под влиянием действующего усилия отличается от его величины в ненагруженном состоянии. Это явление называется пружиной рабочей клетки прокатного стана.

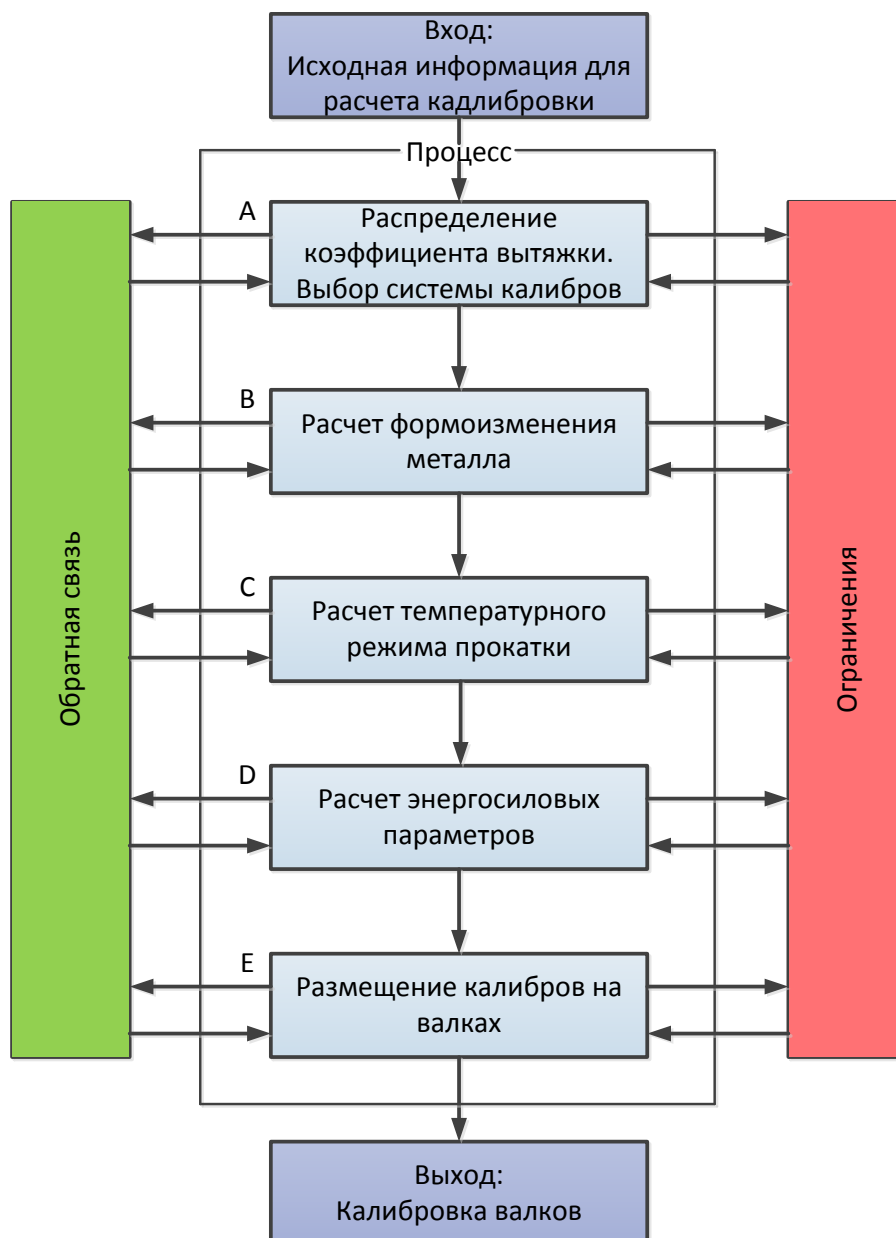


Рис. 2.8. Системная модель проектирования калибровки валков

Величина пружины рабочей клетки складывается из упругих деформаций элементов рабочей клетки (валков, подшипников, подушек, нажимных винтов, станин) и зависит как от конструкции клетки, так и от приложенной нагрузки. Зазор между буртами валков должен быть не менее пружины рабочей клетки с учетом допустимой величины износа калибра.

Это относится, в первую очередь, к чистовым калибрам, где для лучшего выполнения профиля поперечного сечения и контроля размеров прокатываемого металла желательно иметь минимальный зазор между валками. В остальных калибрах, без ущерба требований к форме поперечного сечения профиля, зазор может быть увеличен, что дает возможность уменьшить глубину вреза ручья  $H_{\theta p}$  и продлить срок службы валков. Кроме того, появляется возможность, изменяя зазор между валками, использовать одни и те же калибры для прокатки нескольких типоразмеров профилей.



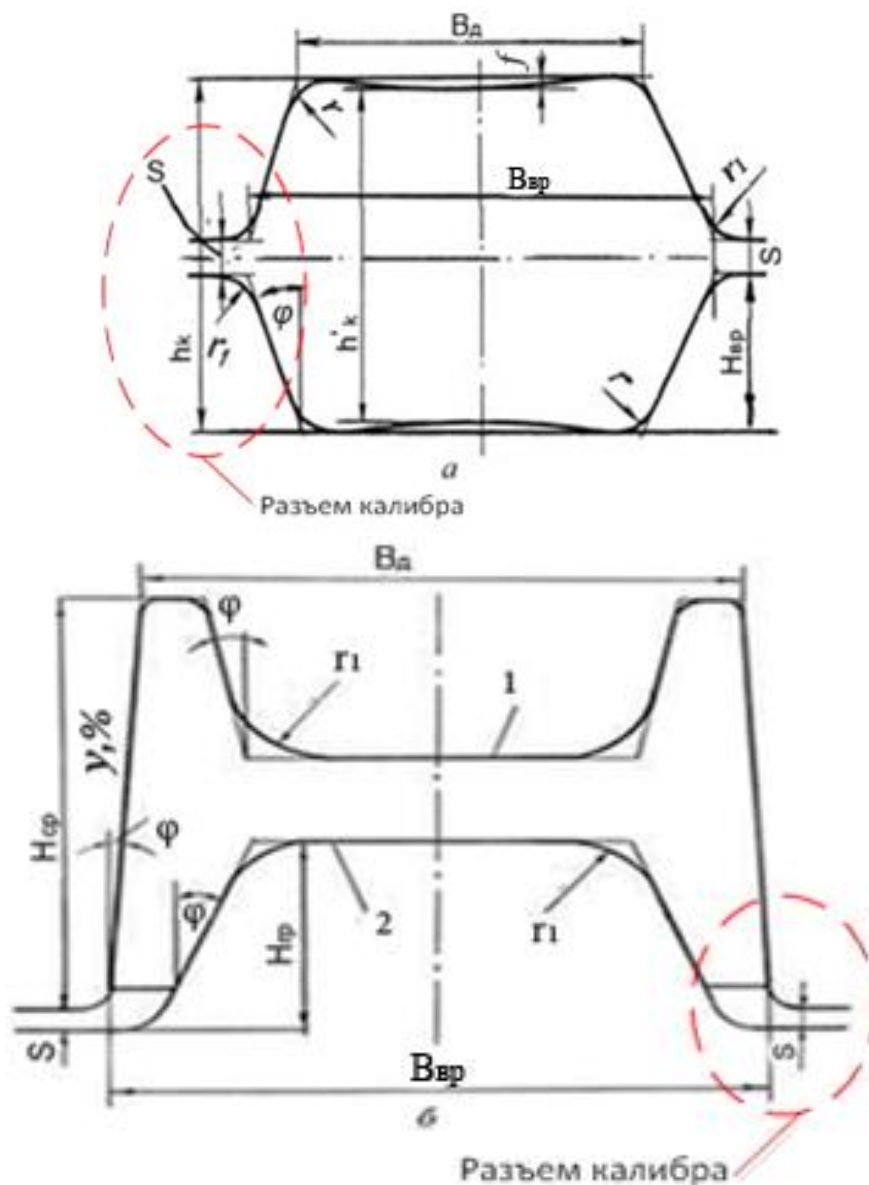


Рис. 2.9. Элементы калибра:

*a* – ящичный; *b* – балочный; 1 – ручей в виде впадины; 2 – ручей в виде выступа;  $B_{д}$  – ширина калибра по дну (минимальная);  $B_{вр}$  – ширина калибра у разъема (по врезу, максимальная);  $H_{вр}$  – глубина вреза ручья;  $H_{гр}$  – высота гребня (выступа);  $h_{к}$  – высота калибра;  $h'_{к}$  – высота калибра по дну;  $S$  – зазор между буртами валков;  $r$  – радиусы сопряжений стенок калибра;  $r_1$  – радиусы закругления буртов;  $f$  – выпуклость дна ящичного калибра;  $\varphi$  – угол наклона стенок калибра, в градусах;  $\gamma_{к}$  – уклон боковых стенок калибра, в %

На основании выработанных практикой соотношений в зависимости от диаметра валков  $D$  величину зазора  $S$  между буртами принимают в следующих пределах [9]:

$S = 0,015 \cdot D + 2 \text{ мм}$	при	$D > 600 \text{ мм};$
$S = 0,012 \cdot D + 2 \text{ мм}$	при	$400 \leq D \leq 600 \text{ мм};$
$S = 0,008 \cdot D + 0,5 \text{ мм}$	при	$D < 400 \text{ мм}.$

### Выпуск калибра

При прокатке на обычных станах (исключая универсальные) профилей простой формы поперечного сечения и фасонного проката (швеллеры, рельсы, двутавровые балки с клиновидными полками и т.д.) боковые стенки калибров (ручьев калибра) делают с наклоном к оси валков. Наклон боковых стенок калибра относительно перпендикуляра к оси валков называется выпуском калибра. Выпуск калибра обеспечивает: удобную и правильную подачу раската в калибр и центровку раската; свободный выход раската из калибра и устранение опасности защемления металла и оковывания валка; управление степенью заполнения калибра металлом посредством изменения раствора валков; переточку изношенных калибров с сохранением их размера по ширине.

Для раската из калибра в случае защемления металла и оковывания валка требуются значительные усилия, которые могут привести к поломке выводной арматуры.

Выпуск калибра (ручья) выражается (рис. 2.10) в градусах:

$$\operatorname{tg}\varphi = (B_{\text{cp}} - B_{\text{д}}) / 2H_{\text{cp}}, \quad (2.1)$$

а его уклон  $Y_{\text{к}}$  - в процентах от глубины ручья:

$$Y_{\text{к}} = 100 (B_{\text{cp}} - B_{\text{д}}) / 2H_{\text{cp}}, \quad \% \quad (2.2)$$

Согласно геометрии прокатываемого профиля (элементам профиля) и форме калибра, различают уклоны наружные - стенок врезанного ручья  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{н}}$  и внутренние  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{в}}$  - наружных стенок гребня (внутренних стенок клиновидных полок швеллера или двутавровых балок и др.).

В процессе эксплуатации валков калибры изнашиваются, размеры их увеличиваются, форма искажается, а рабочие поверхности покрываются трещинами разгара. Дальнейшая прокатка в таких калибрах становится невозможной, так как сопряжена не только с появлением различных дефектов на раскате, но и с увеличением размеров поперечного сечения раската. Причем, подстройка стана в таких случаях тоже невозможна вследствие предельно допустимого использования зазоров между буртами.

При подаче раската большего сечения, выходящего из выработанного калибра в следующий, возможно переполнение калибра с вытеканием металла в разъем и образование заусенцев («лампасов»). Поэтому калибр периодически перетачивают. Если калибр не имеет выпусков, то восстановить его прежние размеры по ширине невозможно (рис. 2.10а). Калибры, имеющие выпуски боковых стенок, при ремонтных переточках возможно восстановить до первоначальных размеров (рис. 2.10б).

При ремонтных переточках диаметры валков уменьшаются. Уменьшение диаметров валков зависит от величины выпусков калибров: с увеличением выпуска величина обточки валков по диаметру уменьшается (рис. 2.10в, г)

$$\Delta D = D_{\bar{\sigma}} - D_{\bar{\sigma}n} = 2\delta_n / 2\operatorname{Sin}\varphi. \quad (2.3)$$

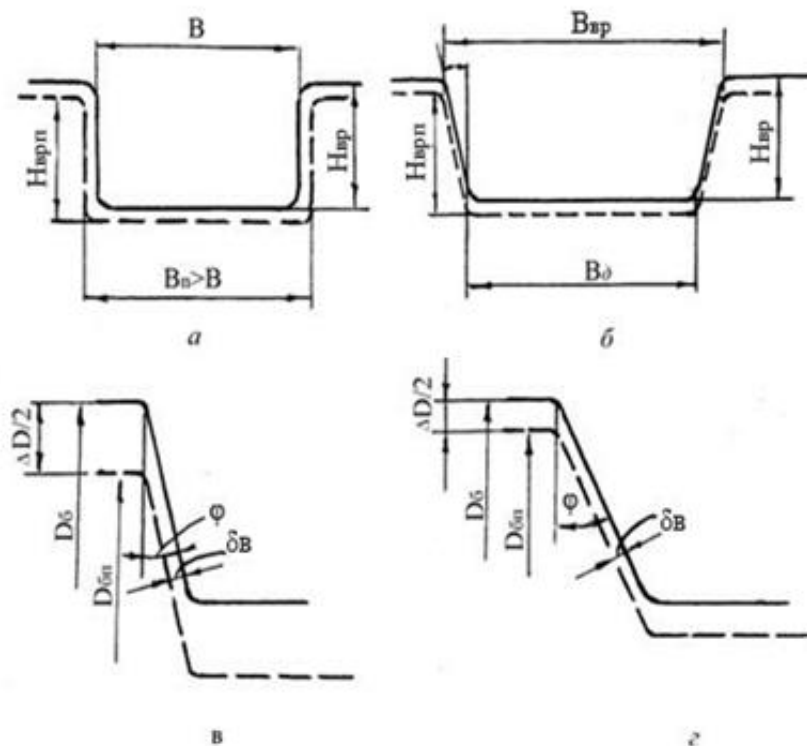


Рис. 2.10. Влияние выпуска калибра (ручья) на восстановление ширины калибра (а, б) и на величину обточки (съема металла) по диаметру рабочих валков при ремонтных переточках (б, г):

$B$  – ширина ручья без выпуска;  $B_{п}$  – ширина ручья после переточки;  $B_{\partial}$  – ширина ручья по дну;  $B_{вр}$  – ширина калибра у разъема;  $H_{вр}$  – глубина вреза ручья до переточки;  $H_{бп}$  – глубина вреза ручья после переточки;  $D_{б}$  – диаметр валка по буртам до переточки;  $D_{бп}$  – диаметр валка по буртам после переточки;  $\Delta D$  – уменьшение диаметра бочки валка по буртам при переточке;  $\varphi$  – угол наклона боковой стенки ручья (выпуск);  $\delta_{в}$  – выработка (износ) стенки калибра.

Выпуски принимают конструктивно в широких пределах в зависимости от назначения и формы калибра:

- для обжимных и черновых калибров  $Y_k = 10 \div 30\%$ ;
- для предчистовых и чистовых калибров  $Y_k = 1 \div 10\%$ .

Применяют также двойные уклоны боковых стенок, обеспечивающие защемление (ограничение уширения) раската по дну калибра с одновременным дополнительным простором на уширение у разъема.

При прокатке фасонного проката выпуски предусматривают в зависимости от геометрии прокатываемого профиля и примененной системы калибровки (прямополощная, развернутая, диагональная).

С увеличением выпуска калибра  $\text{tg} \varphi$  уменьшается глубина вреза ручья в тело валка, повышается прочность валков, а на чугунных валках – сохраняется большая толщина отбеленного слоя. В этом случае повышается износостойкость и срок службы валков. При увеличении выпуска уменьшается износ боковых стенок калибра вследствие снижения интенсивности скольжения металла по боковым стенкам. Однако при слишком больших выпусках форма прокатываемого раската сильно искажается.

## Бурт

Часть бочки валка, расположенную за пределами контура калибра, называют буртом (рис. 2.11). Закругление буртов калибра в месте разъема предотвращает концентрацию напряжений и образование дефектов на поверхности полосы в случае небольшого переполнения калибра или смещения ручьев – подрез (рис. 2.12).

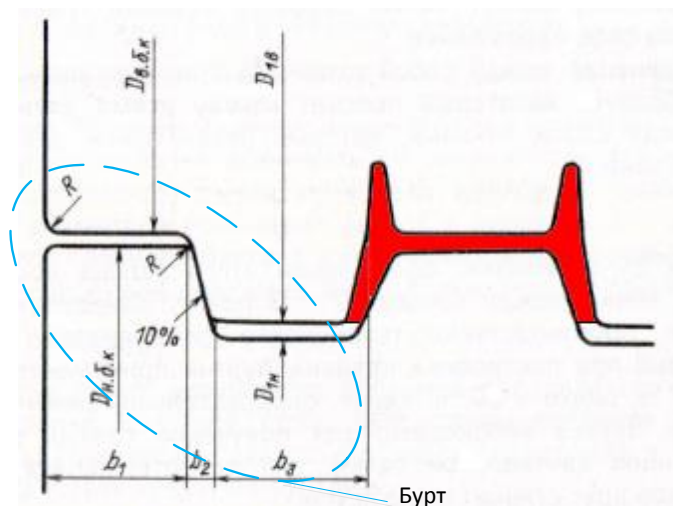


Рис. 2.11. Фрагмент оформления ширины элементов крайнего бурта при калибровке валков для прокатки двутавровой балки:  
 $D_{нбк}$  – диаметр крайнего нижнего бурта;  $D_{вбк}$  – диаметр крайнего верхнего бурта;  
 $D_{1в}$  – диаметр верхнего валка;  $D_{1н}$  – диаметр нижнего валка



Рис. 2.12. Вид дефекта «подрез» на поверхности круглого проката

## Радиусы закруглений

Радиусы закруглений на стыках боковых стенок и дна ручья делают для предотвращения концентрации напряжений в валках, исключения образования острых углов на раскате, приводящих к образованию закатов и трещин при разрыве острых кромок, значительно быстрее остывающих и имеющих вследствие этого пониженную пластичность по сравнению с остальным сечением раската.

Радиусы закруглений принимают конструктивно [10]:

- по дну калибров  $r \approx (0,1 \div 0,15) h_{кi}$ ;
- по краям буртов  $r_1 \approx S$ .



Каждая пара валков, гладких или калиброванных, имеющая различные диаметры в различных точках ручьев и по буртам, характеризуется двумя постоянными параметрами: длиной бочки  $L_b$  и номинальным (начальным) диаметром  $D_0$ , под которым понимают расстояние между осями верхнего и нижнего рабочих валков, включая и зазор между ними. Другим словами, это такие воображаемые диаметры, при которых валки соприкасались бы между собой буртами (рис. 2.14):

$$D_{об} = D_{бв} + S; \quad D_{он} = D_{бн} + S; \quad D_0 = (D_{он} + D_{ж})/2. \quad (2.4)$$

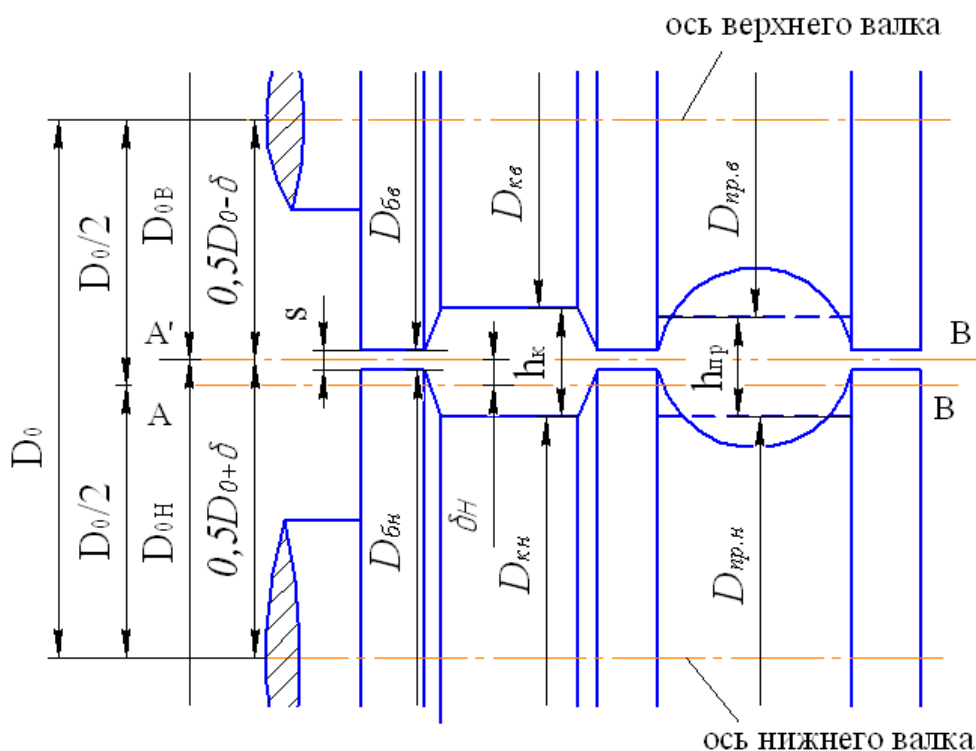


Рис. 2.14. Схема расположения линий: прокатки, средней линии валков, нейтральной линии калибра (при нижнем давлении  $\delta_n$ ):

AB – средняя линия валков; A'B' – линия прокатки и нейтральная линия калибров;  $D_0$  – номинальный (начальный) диаметр валков;  $D_{бв}$  и  $D_{бн}$  – диаметры верхнего и нижнего валков по буртам;  $S$  – зазор между валками;  $D_k$  – катающий диаметр валков;  $h_k$  – высота ящичного калибра в рабочем состоянии;  $h_{пр}$  – приведенная (средняя) высота круглого (или любого фасонного) калибра;  $D_{пр}$  – приведенный (средний) катающий диаметр валков при прокатке профиля сложной формы поперечного сечения.

Обычно, за исключением идеального случая, начальные (номинальные) диаметры верхнего и нижнего валков не равны  $D_{об} \neq D_{он}$ . Диаметры валков по буртам тоже неравны:  $D_{бв} \neq D_{бн}$ . Тогда

$$D_0 = 0,5 (D_{он} + D_{ж}) = 0,5((D_{бн} + S) + (D_{он} + S)) = 0,5 (D_{он} + D_{бн}) + S. \quad (2.5)$$

При проектировании прокатных станов в качестве исходных размеров для всех клеток принимают  $D_{и} = const$ .

Номинальные диаметры  $D_0$  новых рабочих валков для увеличения срока их эксплуатации, но с учетом допускаемого перекоса шпинделей, принимают на 5% больше постоянных, то есть:

$$D_{0\max} = 1,05D_{ин} \quad (2.6)$$

Минимальный начальный диаметр рабочих валков после всех ремонтных переточек допускается на 5% меньше  $D_{ин}$

$$D_{0\min} = 0,95D_{ин} \quad (2.7)$$

При этом полусумма максимального и минимального диаметров должна оставаться постоянной, равной диаметру валков шестеренной клетки по начальной окружности  $D_{ин}$  [8, 9].

Для оценки эксплуатационной стойкости валков за одну закладку или за все рабочие кампании пользуются различными показателями [4]: по количеству переточек валка; количеству прокатанного металла между переточками и после всех переточек; по расходу валков (кг) на одну тонну проката.

Одним из таких показателей является коэффициент переточки валков  $K$  [8], которым характеризуют степень изменения диаметров валков при ремонтных переточках:

$$K = (D_{\max} - D_{\min})/D_0 \quad (2.8)$$

С учетом величины  $K$  окончательно имеем

$$\left. \begin{aligned} D_{\max} &= (1 + 0,5K) \cdot S \\ D_{\min} &= (1 - 0,5K) \cdot S \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Согласно данным, приведенным в работе [8], коэффициенты переточки валков  $K$  принимают в пределах:  $K = 0,08-0,12$ , то есть 8–12%.

Следует учитывать, что в настоящее время на станах при ремонтах валков для повышения срока их службы применяется наплавка изношенных калибров.

#### **Специальные понятия**

Для определения положения калибров в валках введены некоторые дополнительные специальные понятия: катающего диаметра валков, средней линии валков, линии прокатки, нейтральной линии калибра, «верхнего и нижнего давления».

Катающий диаметр  $D_k$  валков – это условный диаметр по дну калибра фактической или расчетной высоты, то есть диаметр, по которому валок соприкасается с раскатом. При прокатке в валках с гладкой бочкой этот диаметр принимают по бочке валка:

$$D_k = D_{б.} \quad (2.10)$$

При прокатке раската в ящичном калибре прямоугольного или квадратного сечения фактическая высота калибра  $h_k$  и толщина раската постоянны и катающий диаметр валков определяют как разницу между величиной номинального (начального) диаметра валков  $D_0$  и фактической высотой калибра  $h_k$ :

$$D_k = D_0 - h_k \quad (2.11)$$

При прокатке в калибрах сложной формы поперечного сечения ввиду неравномерности высоты калибра и диаметров валков по ширине калибра необходимо определять средние (приведенные) значения высоты калибра  $h_{к. пр.}$ , а затем приведенный (средний) катающий диаметр валков (рис. 2.14).

В работе [6] приводятся несколько приближенных способов определения средней толщины раската: по смещенным площадям, по смещенным объемам, по приведенной ширине, по высоте и ширине соответственной полосы. Авторы работы [10] тоже указывают, по меньшей мере, на три упрощенных метода определения среднего катающего диаметра валков: по контактной поверхности калибра, по средней высоте калибра, по периметру калибра.

Из всех вышеуказанных способов наиболее простым, а поэтому наиболее часто применяемым, является способ, согласно которому приведенную высоту калибра  $h_{пр}$  приравнивают к средней (приведенной) толщине раската  $h_{ср}$ , определяемой через площадь поперечного сечения раската  $F_p$  (калибра) и ширину раската  $B_p$  (калибра):

$$h_{пр} = h_{ср} = F_p/B_p = q_k/B_k, \quad (2.12)$$

где  $q_k$  – площадь поперечного сечения калибра (по калибровочным данным);  
 $B_k$  – ширина калибра.

Тогда катающий диаметр

$$D_k = D_0 - h_{пр}. \quad (2.13)$$

Средней линией валков называют горизонтальную линию АВ, делящую расстояние между осями рабочих валков пополам  $D_0/2$  (рис. 2.14).

Линия прокатки – это линия соприкосновения начальных диаметров, на которой размещены калибры и с которой совмещают нейтральную линию калибра (рис. 2.14).

Под нейтральной линией калибра (НЛК) понимают такую особую горизонтальную линию А/В/, разделяющую калибр на две части, относительно которой воздействие сил от верхнего и нижнего валков на раскат одинаково и при совмещении которой с линией прокатки достигается прямолинейный выход раската из валков. Другими словами НЛК – это линия, относительно которой моменты сил, приложенные к раскату со стороны верхнего и нижнего валков, равны. Положением нейтральной линии А/В/ определяется положение калибра в валках.

Калибры любой формы поперечного сечения располагают (врезают) в валки таким образом, чтобы нейтральная линия калибра совпадала с линией прокатки.

Частным (идеальным) случаем является случай, когда линия прокатки и нейтральная линия калибра совпадают со средней линией валков.

В симметричных калибрах простой формы поперечного сечения (прямоугольник, круг, ромб и т.д.) горизонтальная ось симметрии совпадает с линией прокатки при врезе калибров в валки и является нейтральной линией этих калибров.



### Верхнее и нижнее давление

Направление выхода раската из калибра не должно быть произвольным, случайным. Чтобы полоса выходила из валков в заданном направлении, прокатные валки имеют разный диаметр. На сортовых станах диаметр верхнего валка больше нижнего. Эту разницу диаметров называют верхним давлением:

$$\Delta_{\beta} = D_{\beta} - D_{\eta} > 0. \quad (2.14)$$

Поскольку скорость вращения валков одинаковая, то линейная скорость на контактной поверхности верхнего валка больше и полоса получает изгиб вниз. На ее пути устанавливают выводную проводку (рис. 2.15), у которой один конец скользит по поверхности ручья, а другой лежит на проводковом бруске или на специальном столе. Регулируя ее положение относительно дна калибра, получают прямой, без кривизны, раскат.

На обжимных станах, где раскат имеет большую массу, из-за опасности повреждения роликов рольгангов, предусматривают нижнее давление, т.е.

$$\Delta_{\eta} = D_{\beta} - D_{\eta} < 0. \quad (2.15)$$

При прокатке в калибрах верхнее и нижнее давление определяют по разности катающих диаметров. Величина давления должна быть достаточной, чтобы преодолеть случайные изгибы полосы, например, от неравномерного нагрева.

Поскольку валок большего диаметра воздействует через прокатываемую полосу на валок меньшего диаметра, то при слишком большом различии окружных скоростей в момент захвата возникают резкие удары в соединительных шпинделях, что может привести к их поломке. Поэтому рекомендуют принимать такие верхние и нижние давления, которые могли бы обеспечить разность окружных скоростей верхнего и нижнего валков  $\Delta v \approx 50$  мм/с.

Величину давления  $\Delta$  (мм) можно вычислить, выразив окружную скорость каждого валка через частоту их вращения  $n$ :

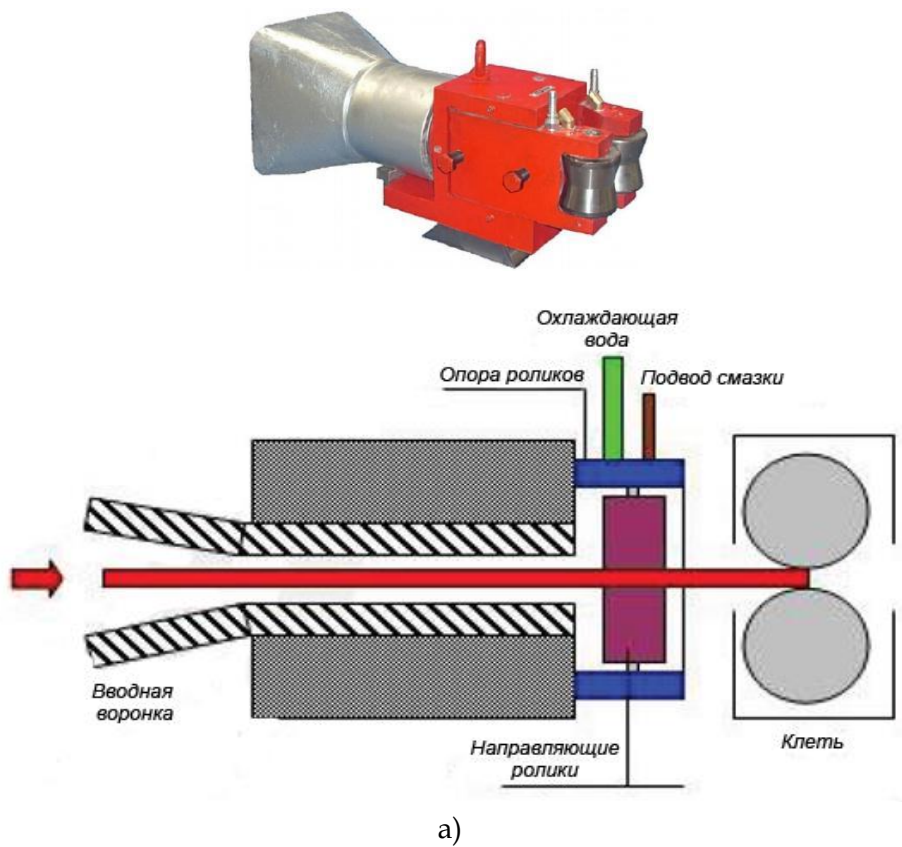
$$\Delta = D_{\beta} - D_{\eta} = 60 \Delta v / \pi n \approx 1000 / n. \quad (2.16)$$

Принятые на практике значения давления  $\Delta$  (мм) (табл. 2.1) примерно соответствуют вычисленным по формуле (2.16).

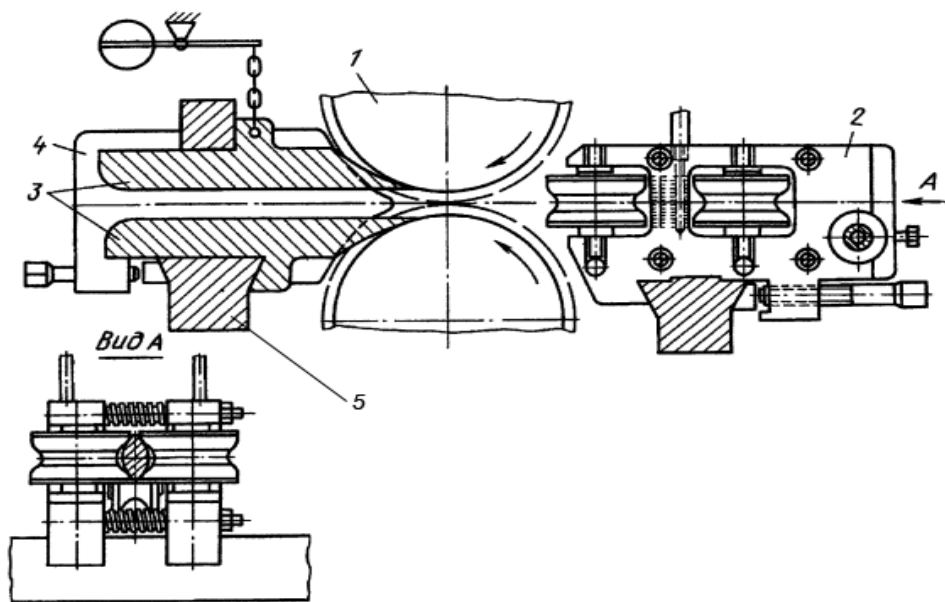
В общем виде, согласно рис. 2.14, в зависимости от принятого верхнего или нижнего давления линию прокатки смещают вниз или вверх относительно средней линии валков на величину  $\Delta = \pm \Delta D / 4 = \pm (D_{\text{он}} - D_{\text{об}}) / 4$  соответственно.

Таким образом, правила расположения калибров на валках следующие:

- 1) на расстоянии, равном номинальному диаметру валков, проводят оси верхнего и нижнего валков;
- 2) на одинаковом расстоянии от каждой оси проводят среднюю линию валков;
- 3) на расстоянии  $\delta$  от средней линии валков проводится линия прокатки;
- 4) величина  $\delta$  откладывается вниз для создания верхнего давления и вверх – для создания нижнего;
- 5) калибры размещают на линии прокатки таким образом, чтобы их нейтральная линия совпадала с линией прокатки [10].



а)



б)

Рис. 2.15. Внешний вид, принцип работы (а) и схема установки привалковой арматуры клетки (б):

1 – прокатный валок; 2 – роликовая коробка; 3 – выводные верхняя и нижняя проводки; 4 – выводная линейка; 5 – проводковый брус

**Значения давлений, используемых  
на сортопрокатных станах различных типов**

Типы станов	Давление $\Delta$ , мм
Обжимные	10–15
Крупносортные и обжимные клетки средне- и мелкосортных	4–8
Черновые клетки крупно- и среднесортных станов	4–6
Черновые клетки мелкосортных станов	2–4
Предчистовые и чистовые клетки мелкосортных станов	1–2

### **Контрольные вопросы**

1. На чём основывается обработка металлов давлением?
2. Что называют перенормировкой изделий?
3. Как называется поперечное сечение прокатываемой полосы (раската)?
4. Назовите основные признаки и группы сортамента прокатных профилей.
5. На какие виды подразделяются прокатываемые профили в зависимости от назначения?
6. Что представляет собой калибровка прокатных валков?
7. В чём заключается основная задача калибровки валков?
8. Что должна обеспечивать калибровка прокатных валков?
9. Что включает в себя понятие калибровки валков?
10. На использовании чего основывается выбор калибровки прокатных валков?
11. Что называют в прокатном производстве ручьём и что – калибром прокатных валков?
12. По каким признакам классифицируют виды калибров?
13. Какими по форме могут быть калибры?
14. Как различают калибры по конструкции и их назначению?
15. Как классифицируют калибры по расположению на валках?
16. Назовите и охарактеризуйте основные элементы калибра.
17. Какие специальные понятия определяют положение калибров в валках?
18. Что представляет собой катающий диаметр прокатных валков и каким его принимают?
19. Назовите приближенные способы определения средней толщины раската.
20. На какой линии размещают калибры прокатных валков и что с ней совмещают?
21. Назовите основные правила расположения калибров на валках.
22. Какой формы выполняют обжимные (вытяжные) калибры и для чего они предназначены?
23. Как располагаются черновые калибры на прокатных валках и какую функцию при этом они выполняют?
24. Какую форму имеют предчистовые или предотделочные калибры и что они обеспечивают?
25. С учетом каких размеров рассчитывают размеры чистового (последнего) калибра?

### ГЛАВА 3.

## ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮМОВ И ЗАГОТОВОК ДЛЯ СОРТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

### 3.1. Производство горячекатаных блюмов в системе технологий «слиткового передела»

#### 3.1.1. Блюминг: назначение, устройство и принципы использования

В большинстве случаев блюминг – это одноклетьевого реверсивный двухвалковый стан (рис. 3.1), на котором прокатывают слитки массой до 40 т. Основным параметром блюминга является диаметр валков ( $\varnothing$ ). В соответствии с этим параметром блюминги подразделяют на малые, с  $\varnothing$  850–1000 мм, средние, с  $\varnothing$  1050–1200 мм и большие, с  $\varnothing$  1250–1600 мм [9]. Производительность блюмингов находится в пределах 2–6 млн т/год.

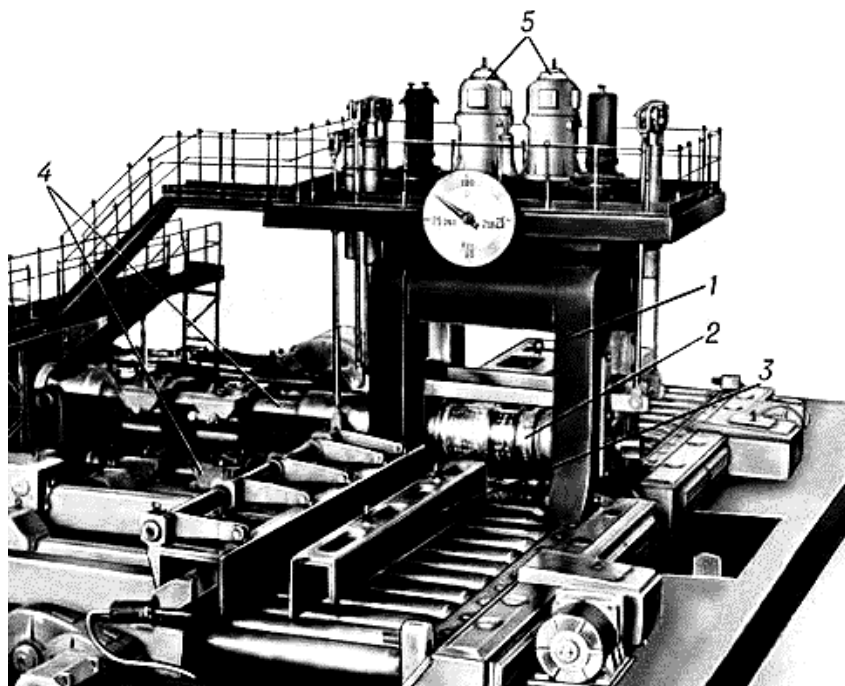


Рис. 3.1. Макет блюминга:

1 – рабочая клетка; 2 – верхний валок; 3 – манипулятор;  
4 – универсальные шпиндели; 5 – главные электродвигатели

Рабочая клетка блюминга состоит из двух литых стальных станин массой 60–105 т, которые установлены на фундаментных плитах (плитовинах), прокатных стальных валков 2 и их подшипников, механизма для установки (подъёма и опускания) верхнего валка и механизма для смены валков. Общая высота рабочей клетки достигает 7–9 м. Вращение валков осуществляется от электродвигателей 5 постоянного тока. У блюминга с одним электродвигателем механизм, передающий вращение валкам, состоит из двух универсальных шпинделей 4, шестерённой клетки с двумя

зубчатыми шестернями, расположенными одна над другой, и коренной муфты, сцепляющей ведущий вал шестерни с валом электродвигателя. В блюминге новейшей конструкции каждый рабочий валок снабжен индивидуальным электродвигателем, и вращение передаётся через приводные валы и универсальные шпиндели.

Технологический процесс прокатки в обжимном цехе включает: доставку горячих слитков из сталеплавильного цеха к нагревательным колодцам, подогрев слитков в вертикальном положении в колодцах до 1100–1300 °С (в зависимости от марки стали), подачу каждого слитка на слитковозе к приёмному рольгангу блюминга, взвешивание слитка и подачу его по рольгангу к валкам блюминга, прокатку за 11–19 проходов с обжатием 40–120 мм за проход и промежуточными кантовками на 90° (кантовка и перемещение полосы вдоль валков осуществляются манипулятором 3). У полосы, поступившей к ножницам, отрезают передний и задний концы, после чего она передаётся на заготовочные станы. Выход блюмов составляет 85–90 % массы слитков. Применение блюминга позволяет разливать сталь в крупные слитки, повышает качество готового проката.

На многих блюмингах прокатывают не только блюмы, но и слябы. В этом случае их называют блюминги-слябинги. Они имеют большую высоту подъёма верхнего валка в интервале 1150–1520 мм.

В СССР получила распространение отливка заготовок на установках непрерывной разливки стали, что во многих случаях (особенно при большом объёме производства) оказывается целесообразнее и экономичнее, чем использование блюминга. Этот способ имеет ряд преимуществ (по сравнению с блюмингом), позволяющих снизить себестоимость проката на 7–10 %. Работа нескольких промышленных установок непрерывной разливки показала, что этот метод более экономичен, чем разливка металла в изложницы с последующей прокаткой слитков на блюминге. Перспективно совмещение непрерывной разливки с последующей прокаткой литых заготовок (блюмов).

#### *Нагревательные устройства и организация погрузки и выдачи слитков*

Для нагрева слитков, доставляемых из стрипперного отделения сталеплавильного цеха (рис. 3.2 и рис. 3.3), предусмотрены нагревательные колодцы, расположенные в отдельном пролёте, получившем название «отделение нагревательных колодцев».

Нагревательные колодцы выполнены в виде камер, в которые колодцевым краном клещевого типа загружают в вертикальном положении слитки (рис. 3.4), благодаря чему достигают равномерного нагрева металла и обеспечивают возможность выгрузки слитков из колодцев тем же краном (рис. 3.5).

Обычно два или четыре нагревательных колодца образуют одну группу. Применяют также и одинарные колодцы больших размеров.

В обжимных цехах применяют рекуперативные колодцы (садкой 100–200 т) с нижним или верхним подогревом, отапливаемые смесью доменного газа с коксовым, теплота сгорания которой 5900–8380 кДж/кг.



Рис. 3.2. Стрипперное отделение: снятие изложниц со слитков кипящей стали



Рис. 3.3. Транспортировка слитков из стрипперного отделения в отделение нагревательных колодцев

В зависимости от химического состава стали разделяют на группы по режимам нагрева. При широком марочном сортаменте обжимных станков таких групп устанавливают шесть.

Температуру поверхности слитка перед посадкой определяют в зависимости от времени конца заливки и массы слитка, а режим нагрева устанавливают в зависимости от марки стали (группы нагрева), температуры посадки в нагревательные колодцы, массы слитка и температуры ячейки колодца при посадке слитков. Температура нагрева слитков в колодцах находится в диапазоне 1100–1270 °С, а время нагрева составляет от 1,5 до 8 часов.

Режим нагрева слитков состоит из двух или трех периодов. Обязательными являются периоды нагрева и томления (выдержки), в ряде случаев при нагреве применяют выдержку слитков при температуре 800–900 °С с последующим продолжением

нагрева. Температура нагрева зависит от химического содержания элементов в стали [4]. В целях экономии топлива и более форсированного нагрева необходимо в колодцы загружать слитки с температурой 800–900 °С, т.е. осуществлять горячий посад. Для дополнительного подогрева слитков после посадки в колодец до температуры 1260–1360 °С и выдержки (томления) при этой температуре потребуется 2,5–3,5 ч.



Рис. 3.4. Посадка слитков в отделении нагревательных колодцев с железнодорожной платформы

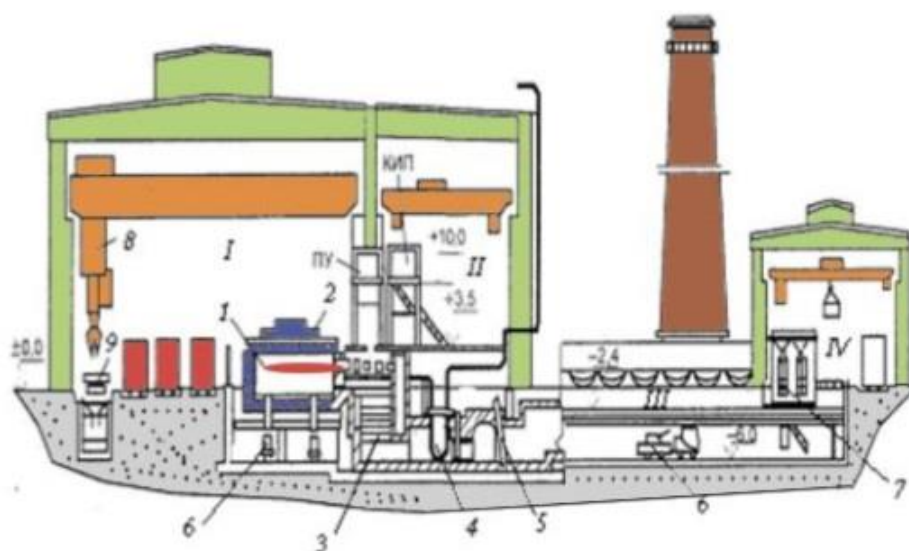


Рис. 3.5. Поперечный разрез по зданию отделения нагревательных рекуперативных колодцев: I – главный пролет; II – вспомогательный пролет; III – двухъярусная галерея; IV – помещение для заправочных материалов; 1 – нагревательная ячейка; 2 – напольно-крышечный кран; 3 и 4 – керамический и металлический рекуператоры; 5 – дымовой шибер; 6 – ковш для шлака; 7 – тележка для коксика и огнеупоров; 8 – колодцевый кран; 9 – слиткоподача

Если же в колодцы загружать холодные слитки с температурой 200–300 °С (холодный посад), то для нагрева их потребуется время в 2–2,5 раза больше, чем при горячем посаде. Производительность колодца при нагреве слитков из среднеуглеродистой стали (по опытным данным) составляет 15–18 т/ч для горячих и 8–10 т/ч для холодных слитков.

Нагревательные колодцы сверху герметически (через песочные затворы) закрывают крышками (рис. 3.6), представляющими собой свод из огнеупорного кирпича, набранного в металлическом каркасе.



Рис. 3.6. Вид ячейки нагревательных колодцев с открытой крышкой в момент выгрузки слитка

Операции по открыванию и закрыванию крышки колодца выполняют специальные напольные краны.

Снятие горячих слитков с железнодорожных платформ, поданных из отделения разливки, посадку их в нагревательные колодцы, выемку из колодцев и посадку в слитковоз (рис. 3.7) выполняют специальные мостовые (клещевые) краны грузоподъемностью до 50 т. (см. рис. 3.6). В дальнейшем при помощи сталкивателя горячие слитки перемещаются с платформы слитковоза на приемный рольганг блюминга и транспортируются к валкам рабочей клетки.

### ***3.1.2. Схема расположения оборудования***

Схемы расположения оборудования слябингов и блюмингов в основном идентичны. Отличие состоит в том, что у слябингов вместо рабочей двухвалковой клетки (как у блюминга) устанавливают универсальную рабочую двухвалковую клетку, а конструкции оборудования отличаются, главным образом, своими размерами и техническими характеристиками.



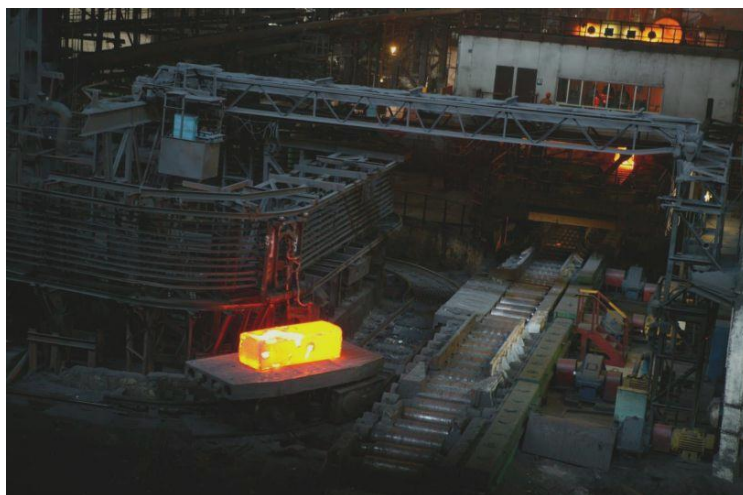


Рис. 3.7. Вид слитковоза с горячим слитком в кольцевой системе подачи

На рис. 3.8 показана схема расположения оборудования блюминга 1300 конструкции ПО «Уралмаш» [11], предназначенного для прокатки блюмов сечением 300x300–350x450 мм и слябов с толщиной 100–200 мм и шириной 700–1000 мм из слитков массой 8–14,5 т со скоростью до 6 м/с.

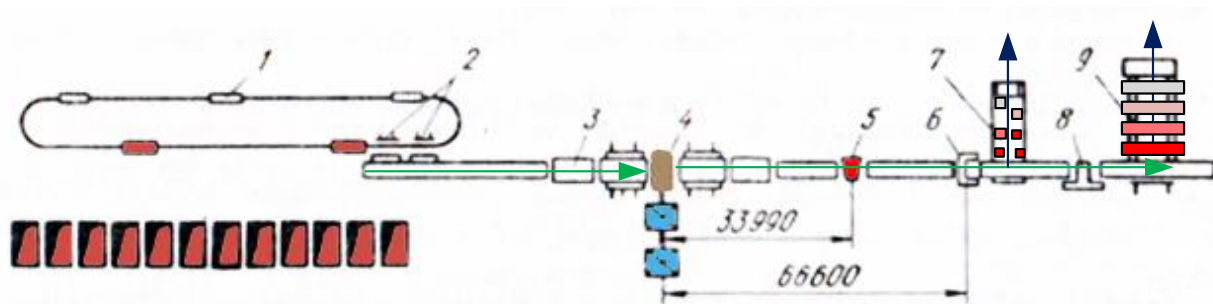


Рис. 3.8. Схема расположения оборудования блюминга 1300 конструкции ПО «Уралмаш» [11]:

- 1 - нагревательные колодцы; 2 - приемный рольганг с боковым сталкивателем слитков;
- 3 - слитковоз (кольцевая подача); 4 - бункер для окалины; 5 - блюминг; 6 - колодец для окалины; 7 - машина огневой зачистки (перенесена на НЗС); 8 - контейнер для обрезков; 9 - шлеппер для готовых блюмов и слябов

На рис. 3.9 представлен внешний вид клетки блюминга 1250 ПАО «Арселор-МитталКриворожсталь». Диаметр валков блюминга 1300 мм (по буртам калибров) и длина бочки 2800 мм. Каждый рабочий валок снабжен индивидуальным приводом от электродвигателя постоянного тока мощностью 6800 кВт, частотой вращения 0–60–90 об/мин и с номинальным моментом на валу 1,1 МН м.

Для зачистки двух противоположных или всех четырех граней поверхности горячих блюмов и слябов (удаления трещин, закатов, окалины, шлака и т.п.) в потоке металла за рабочей клетью в линии рольганга установлена машина огневой зачистки (МОЗ). Температура зачищаемого металла составляет 950–1150 °С, глубина зачистки – 0,8–3 мм и скорость транспортировки через машину 0,25–1,0 м/с.



Рис. 3.9. Внешний вид клетки блюминга 1250 ПАО «АрселорМиталлКриворожсталь»

Машина огневой зачистки передвижная и может быть выведена из линии стана за 50 с (на период прохождения раскатов, не требующих зачистки, или для ремонта, при этом на её место устанавливают неприводной рольганг. Одновременно включается система для гидросбива шлака с поверхности слитка водой высокого давления (3 000 кПа). Газорезущие головки снабжены щелевидными легкозаменяемыми горелками, расположенными под углом  $25^\circ$  к поверхности металла. Если после прокатки зачистка блюмов и слябов не требуется, обе каретки отводятся от рольганга в противоположные стороны при помощи цилиндров. Режим работы МОЗ автоматизирован. При огневой зачистке сжигается поверхностный слой металла толщиной 1,5–2,5 мм, а потери металла при этом составляют 1–2,5 %.

За МОЗ блюмов и слябов установлены ножницы с нижним резом усилием 12,5 МН (рис. 3.10).

С помощью ножниц с нижним резом удаляют головную и донную обрезь, а также режут блюм, в зависимости от его дальнейшего назначения: пополам (при необходимости) для дальнейшей прокатки на непрерывно-заготовочном стане (НЗС), либо на мерные длины (при производстве товарных блюмов).

В таблице 3.2 приведены нормы технологической обрезки на ножницах блюминга 1300 [4]. Чтобы уменьшить число немереных обрезков при резании блюмов и слябов на мерные длины (1200–6000 мм), ножницы управляются ЭВМ посредством датчиков измерений общей длины полосы до резания.

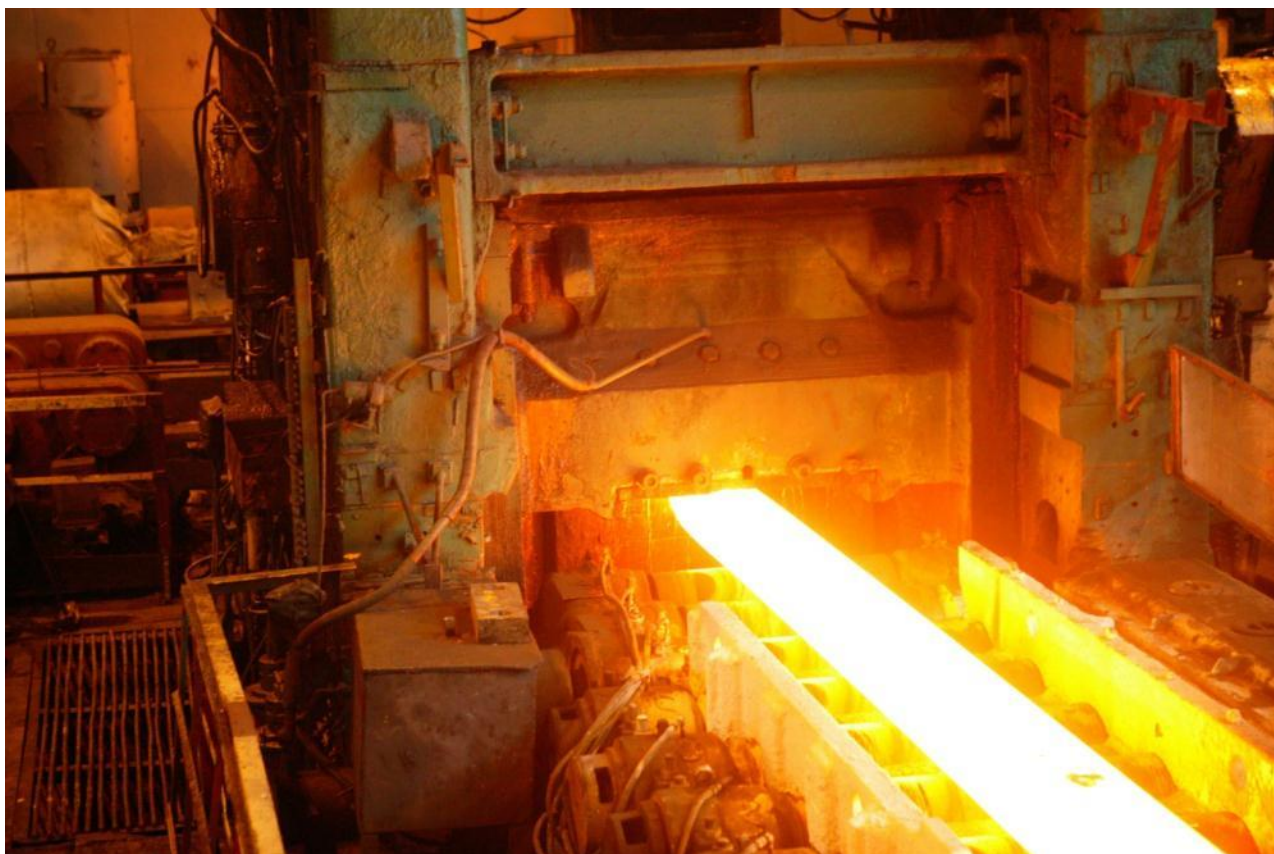


Рис. 3.10. Резка блюмов на мерные длины и удаление головной и донной частей слитка

Таблица 3.2

**Нормы технологической обрезки на ножницах блюминга 1300**

Сталь	Минимальная обрезь (%) от общей длины раската	
	головная	донная
Кипящая рядовая	4	3
Кипящая конструкционная	5	3
Полуспокойная	5	3
Спокойная рядовая	13,5	2,2
Спокойная конструкционная	14,5	2,2
Низколегированная	14	2,2

При резке блюмов и слябов ножницами на мерные длины обрезки от их головной и хвостовой частей составляют 10–15 % по массе. При производительности блюминга 450–600 т/ч от ножниц нужно убирать 50–80 т/ч обрезков конвейером (рис. 3.11) с непрерывной загрузкой обрезков в цельнометаллические железнодорожные платформы грузоподъемностью до 100 т.

Цепной скребковый конвейер расположен поперек станového и скрапного пролетов. Приемная часть конвейера находится в станovém пролете ниже уровня пола цеха, а разгрузочная наклонная часть конвейера – в скрапном пролете с железнодорожным путем для платформ (рис. 3.12).



Рис. 3.11. Вид цепного скребкового конвейера с обрезками от головной и донной частей слитка

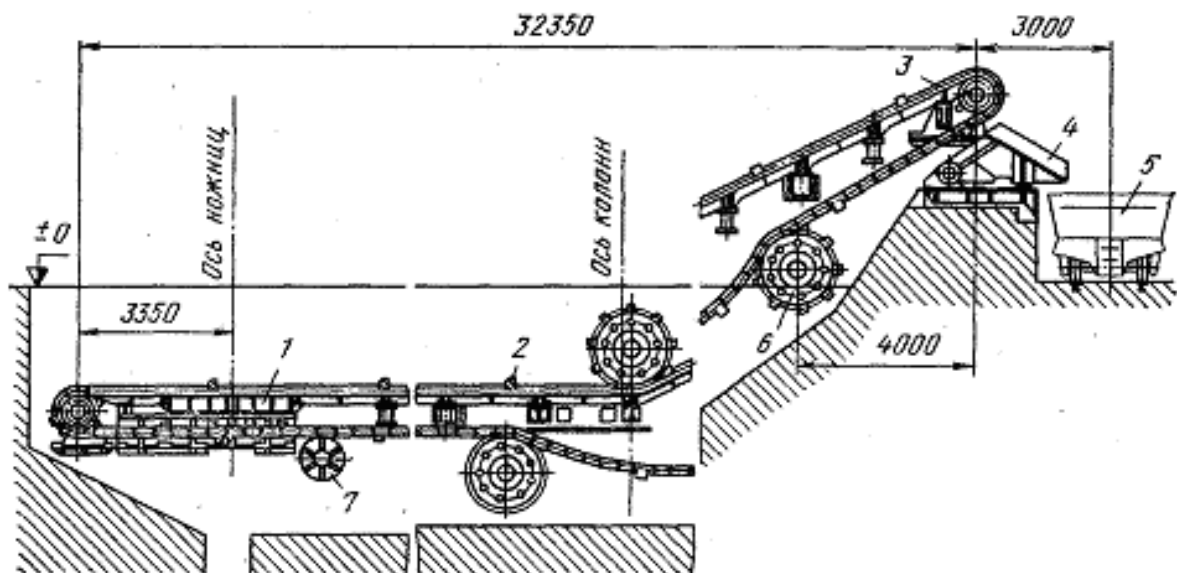


Рис. 3.12. Цепной скребковый конвейер

По наклонному желобу у ножниц обрезки падают вниз и попадают на приемную плиту. Скребки, прикрепленные к звеньям боковых цепей (рис. 3.12), перемещают горячие обрезки массой до 1,5 т каждый по промежуточным плитам к разгрузочному желобу, с которого обрезки падают непосредственно в полузакрытую платформу. По наклонному желобу у ножниц обрезки падают вниз и попадают на приемную плиту 1. Скребки 2, прикрепленные к звеньям боковых цепей, перемещают горячие обрезки массой до 1,5 т каждый по промежуточным плитам к разгрузочному желобу 4, с последнего обрезки падают непосредственно в полузакрытую платформу 5.

Клеймение блюмов и слябов в торец после резки на ножницах осуществляется на ходу автоматическим рычажным клеймителем с дистанционной сменой клейм. Клеймение обрезки автоматизировано. Для этого перед ножницами установлен дисковый клеймитель, который непрерывно наносит клейма на поверхность движущихся блюмов или слябов на определенном отрезке их головной и хвостовой частей. После порезки на ножницах и их клеймения блюмы по рольгангу направляются для дальнейшей прокатки на непрерывном заготовочном стане (НЗС) 900/799/500, а слябы (в количестве, составляющем около 10–15 % от общей производительности стана) сталкиваются толкателем на штабелирующий стол и затем передаются тележкой или краном на склад для охлаждения и зачистки.

При работе блюмингов и слябингов большое внимание надо уделять уборке окалины, которая дробится и отделяется от прокатываемой полосы во время прохождения ее между валками и нахождения на рольгангах. Окалина скапливается под валками и рольгангами.

Если принять, что угар металла на блюмингах и слябингах составляет 2 %, и что половина этого металла в виде окалины отделяется от слитков в нагревательных колодцах, а другая половина – при прокатке, то при большой производительности современных крупных блюмингов и слябингов количество окалины, подлежащей уборке на стане, может достигать в отдельных случаях до 150–200 т сутки. Кроме того, при прокатке слитков, особенно из кипящей стали, от них отделяются куски шлака, количество которых в отдельных случаях может достигать до 20–30 т в сутки. Эту окалину и куски шлака, попадающие под рабочую клетку и рольганги, необходимо своевременно удалять.

Для уборки окалины на блюмингах и слябингах применяют различные способы. Наилучшим способом уборки окалины является гидравлический, при котором окалина смывается водой. Недостатком этого способа является то, что крупные куски металла, особенно отваливающиеся от слитков кипящей стали, в этом случае удалить нельзя.

На блюминге 1150 под рабочими рольгангами (поперек движения металла) расположены два скребковых транспортера, каждый длиной 21,6 м. Желоб транспортера трапецеидальной формы, и по нему движутся цепи со скребками со скоростью 2 м/мин. Механизованная уборка скрапа осуществляется при помощи скипового подъемника (рис. 3.13).

Под рабочими рольгангами 1 расположены бункера 2 с затворами; в бункера попадают весь скрап и большие куски окалины, которые отделяются от слитков при прокатке. По наполнении бункера затвор 3 пневмоприводом 4 открывается и скрап загружается в скиповую тележку 5. При помощи лебедки 6 и канатного привода скип со скрапом поднимается вверх и разгружается в железнодорожную платформу 7, находящуюся в скрапном пролете.

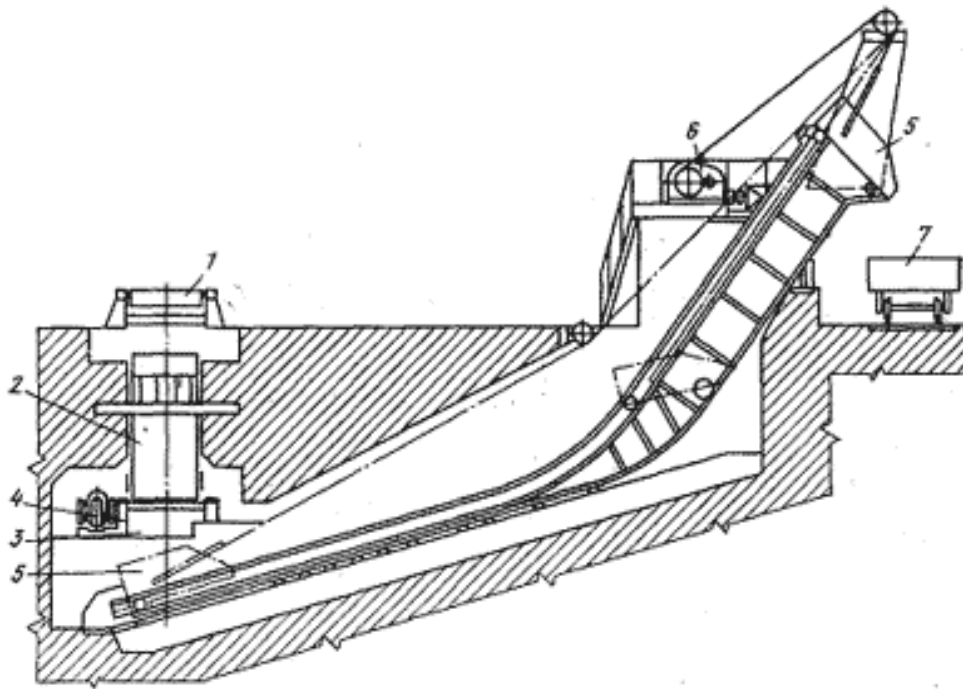


Рис. 3.13. Скиповый подъемник для уборки окалины и кусков скрапа из-под рабочего рольганга

Мелкая окалина проваливается вниз через щели в решетках и попадает в наклонные каналы, по которым непрерывно течет вода. Окалина смывается в отстойную яму в скрапном пролете, из которой периодически удаляется грейферным краном в железнодорожные платформы.

Для обслуживания рабочей клетки блюминга в становом пролете установлен мостовой кран тяжелого типа грузоподъемностью 125 т.

Проектная производительность блюминга 1300 составляет 6,0 млн т/год, масса механического оборудования 5 500 т и общая мощность главных электродвигателей стана 13 600 кВт.

### 3.1.3. Технология производства блюмов

На блюминге применяют два варианта размещения калибров у прокатных валков (рис. 3.14) [9].

Калибр, обозначенный *I*, называют гладкой бочкой. Как видно, он может быть размещен у края (рис. 3.14а) или примерно посередине валка (рис. 3.14б). Основное достоинство размещения гладкой бочки посередине валка заключается в том, что максимальные нагрузки, имеющие место при прокатке в калибре *I*, во-первых, равномерно распределяются на обе шейки валка, что обеспечивает равномерный износ подшипниковых опор, а во-вторых, калибр *I* имеет наименьшую глубину вреза в валки, то есть, это сечение минимально ослаблено. Недостатком такого расположения является то, что увеличиваются паузы при перемещении раската вдоль бочки валка для задачи его в следующий калибр.

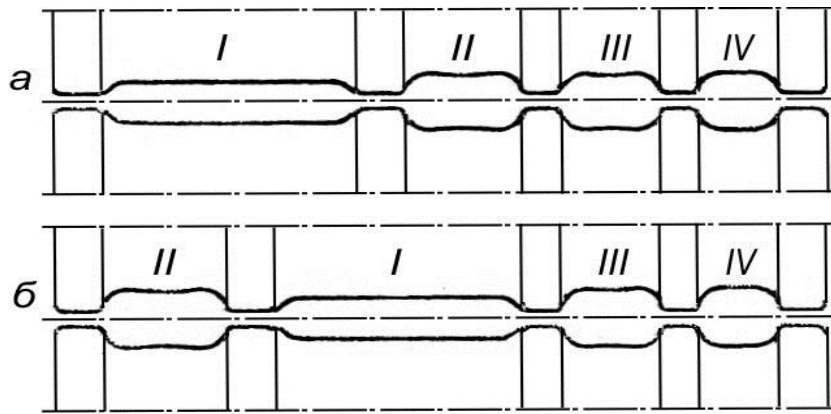


Рис. 3.14. Схемы расположения калибров на валках блюминга:

*а* – размещение бочки (калибр I) у края валка; *б* – размещение бочки (калибр I) посередине валка и симметричное расположение остальных калибров II-IV

Чаще всего калибр I располагают у края валка, а следующие калибры располагают один за другим по ходу прокатки раската. Кроме калибра I, по длине валка располагают еще 3–4 калибра, имеющих ширину 150–500 мм с глубиной вреза ручья 80–110 мм. Такие калибры называют прямоугольными или ящичными. По бокам валка и между калибрами имеются бурты: по краям шириной 80–110 мм, а между калибрами – 70–80 мм. Калибры имеют закругленные углы.

На рис. 3.15 показана калибровка валков блюминга 1250 [4]. На блюминге 1250 в основном прокатывают блюмы сечением 320×300 мм, но имеется возможность прокатывать блюмы сечением 210×210 мм и слябы 170×750 мм. Для этой цели предусмотрен калибр V (в нем производят ребровой проход при прокатке слябов и последний проход при прокатке блюмов 210×210 мм).

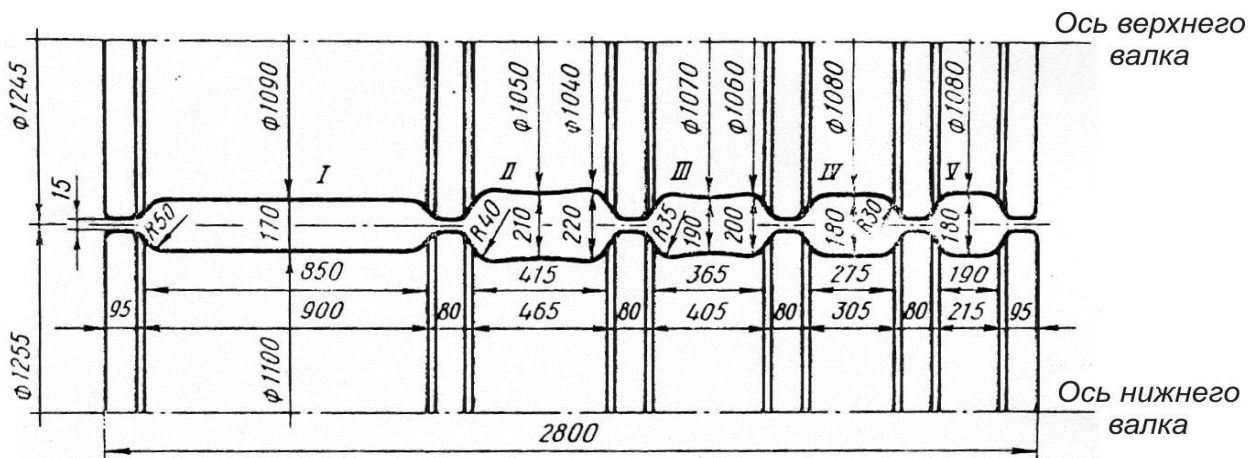


Рис. 3.15. Калибровка валков блюминга 1250

Режим обжатий на блюминге 1250 при прокатке блюмов сечением 320×300 мм показан в таблице 3.3 (размеры калибров см. рис. 3.15).

Таблица 3.3

## Режим обжатий металла на блюминге 1250 при прокатке блюмов 320×300 мм

Номер калибра	Номер прохода	Обжимаемая сторона	Размеры сечения слитка и раската, мм		Величина обжатия, мм	Величина уширения, мм	
			Н	В			
I Бочка	0		820	790			
	1	Н	735	790	85	0	
	2	Н	650	790	85	0	
	Кантовка на 90°						
	3	В	695	655	95	5	
	4	В	600	660	95	5	
	5	В	505	670	95	10	
	6	В	410	680	95	10	
Кантовка на 90°							
II	7	Н	600	420	80	10	
	8	Н	520	430	80	10	
	9	Н	440	445	80	15	
	10	Н	360	460	80	15	
Кантовка на 90°							
III	11	В	365	380	95	20	
	12	В	275	400	90	20	
Кантовка на 90°							
IV	13	Н	320	300	80	25	

Из таблицы 3.3 видно, что исходное поперечное сечение слитка 820×790 мм. Его задают в первом проходе в калибр I (бочку) и обжимают на 85 мм. После этого высота раската становится равной 735 мм. Раскат выходит из валков на заднюю сторону блюминга. Реверсируют рабочие валки и рабочие рольганги, раскат с задней стороны задают в калибр I (бочка), обжимают еще на 85 мм, и с высотой 650 мм он выходит на переднюю сторону блюминга. Уширения раската в этих проходах практически не происходит, так как высота его большая и деформация не проникает на всю глубину раската. Высота раската уменьшается, а за счет этого увеличивается его длина [4].

После этого раскат кантуют кантователем на 90° (рис. 3.16) и начинают обжимать его другую сторону. Производят четыре прохода в калибре I (бочке) без кантовки. Начинается уширение раската, то есть металл течет не только в продольном направлении, но и в поперечном. Однако интенсивность течения в поперечном направлении во много раз меньше, чем в продольном. Далее следует кантовка раската на 90° (рис. 3.16) и передача его с помощью линеек-манипуляторов в калибр II, где производят четыре прохода. Снова следует кантовка на 90° и передача в калибр III. В дальнейшем производится два прохода, кантовка на 90° и передача в калибр IV. Из этого калибра выходит готовый блюм.



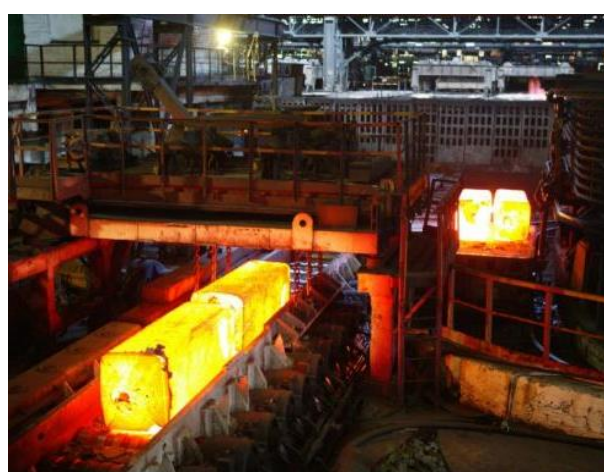


Рис. 3.16. Кантовка слитка на приемном рольганге блюминга

Режим обжатий построен так, что все кантовки производят на передней стороне блюминга, на его приемном рольганге. Прокатка ведется как по одному (рис. 3.17а), так и по два слитка одновременно (рис. 3.17б). Такт прокатки в первом случае составляет около 100–400 с, а во втором 150–200 с.



а)



б)

Рис. 3.17. Прокатка по одному слитку (а) и по два слитка одновременно (б)

При прокатке слябов на блюмингах-слябингах используют слитки прямоугольного сечения (их широкая грань примерно в два раза больше узкой). При этом сначала на бочке обжимают слиток по высоте (обычно за два прохода), а потом кантуют на 90° и делают на бочке до 8-и проходов без кантовки. Далее следует кантовка раската на 90°, а именно – на узкое ребро, и передача раската в глубокий слябовый калибр V (см. рис 3.15), в котором производят два ребровых прохода. Снова кантуют раскат на 90° и последние два-три прохода выполняют в калибре I (гладкой бочке). При прокатке в ребровом положении (калибр IV) устойчивость раската в калибре обеспечивают линейками манипулятора.

При ручном управлении процессом прокатки его производят два оператора. Старший оператор устанавливает раствор валков, ориентируясь на циферблат (см. рис. 3.9), и реверсирует привод валков и рольгангов, а второй оператор управляет кантователем и линейками-манипуляторами. Та часть блюмов, которая предназначена для производства более мелких сечений, поступает на непрерывно-заготовочный стан (НЗС) в обеспечение заготовкой сортовых, проволочных и трубных станов.

### **3.2. Производство передельной заготовки по схеме «слиткового передела»**

#### **3.2.1. Общая характеристика заготовочных станов**

Заготовочные станы снабжают сортовые и трубoproкатные станы соответственно квадратной заготовкой размером от 60×60 мм до 200×200 мм и круглой заготовкой диаметром 75–300 мм. Применение заготовочных станов позволило значительно увеличить пропускную способность обжимных станов, а также увеличить производительность сортопрокатных цехов за счет минимизации числа пропусков (минимизации общей вытяжки). Заготовочные станы устанавливают непосредственно за блюмингом (блюмингом-слябингом), как правило, в одном с ним пролете, завершая тем самым так называемую схему «слиткового передела» производства горячекатаной заготовки (рис. 1.2), а также за блюмовой МНЛЗ (рис. 1.3). Краткая характеристика основных заготовочных станов, получивших наибольшее распространение для производства горячекатаной стали, приведены в таблице 3.4 [28]. Главным образом применяются непрерывные заготовочные станы (НЗС) с индивидуальным приводом валков. Причем на НЗС последнего поколения не предусматривается операция кантовки полосы с помощью кантующих втулок, имеющая ряд существенных недостатков. Эта проблема решена путем установки чередующихся клетей с горизонтальными и вертикальными валками. Наиболее эффективными являются 12-и и 14-и клетевые НЗС, включающие в себя, как правило, две или три группы клетей.

#### **3.2.2. Схема расположения оборудования заготовочного стана**

Одним из последних введенных в эксплуатацию НЗС в СССР стал стан 900/700/500 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь» (рис. 3.18) [11]. Исходным сырьем для него являются блюмы сечением 300×300–400×400 мм, а прокатывают на НЗС заготовки квадратного сечения от 80×80 до 200×200 мм, а также круглую заготовку диаметром от 75 до 200 мм. Схема расположения оборудования приведена на рис. 3.19.

Непрерывно-заготовочный стан 900/700/500 состоит из 14 рабочих клетей, объединенных в две конструктивные группы: черновую и чистовую. Черновая группа в свою очередь состоит из:

- двух отдельно стоящих клетей дуо (рис. 3.20) с номинальным диаметром валков 900 мм (по межосевому расстоянию валков шестеренной клетки), образующих первую группу;

Таблица 3.4

## Краткая характеристика основных станов для горячей прокатки стали

Тип стана	Сортамент проката	Производительность, тыс. т/год	Общая мощность главных приводов, кВт	Масса оборудования, т
Заготовочный непрерывный 900/700/500	Заготовки сечением от 80x80 мм до 200x200 мм	5 550	30 400	10 500
Рельсо-балочный ступенчатый трио 800	Рельсы, балки от № 24 до № 60, швеллеры от № 20 до №40 и др.	1 700	9 800	22 000
Крупносортный ступенчатый трио 650	Круглая сталь диаметром 70–220 мм, балки от № 16 до № 30 и др.	750	8 700	6 500
Крупносортный полунепрерывный 600	Круглая сталь диаметром 50–120 мм, балки от № 10 до № 20 и др.	1 600	34 400	18 000
Среднесортный полунепрерывный 350	Круглая сталь диаметром 20–75 мм, балки и швеллеры до № 10 и др.	1000	16 000	7200
Мелкосортный непрерывный 250	Круглая сталь диаметром 8–30 мм, угловой профиль от 20x20 мм до 40x40 мм и др.	800	16 000	6 600
Узкополосовой непрерывный 300	Полоса толщиной 2–8 мм, шириной 120–460 мм	Более 1000	15 200	2 700
Проволочный непрерывный 150	Катанка диаметром 5,5–12,5 мм	900	-	-

- второй непрерывной (черновой) группы из шести клетей (две клетки с номинальным диаметром валков 900 мм и четыре клетки с номинальным диаметром валков 700 мм, две из них с вертикальным расположением валков).

Чистовая группа из шести клетей (три с горизонтальным, три с вертикальным расположением валков с номинальным диаметром 500 мм) представлена на рисунке 3.21 [11].



Рис. 3.18. Вид станového пролета НЗС со стороны блюминга

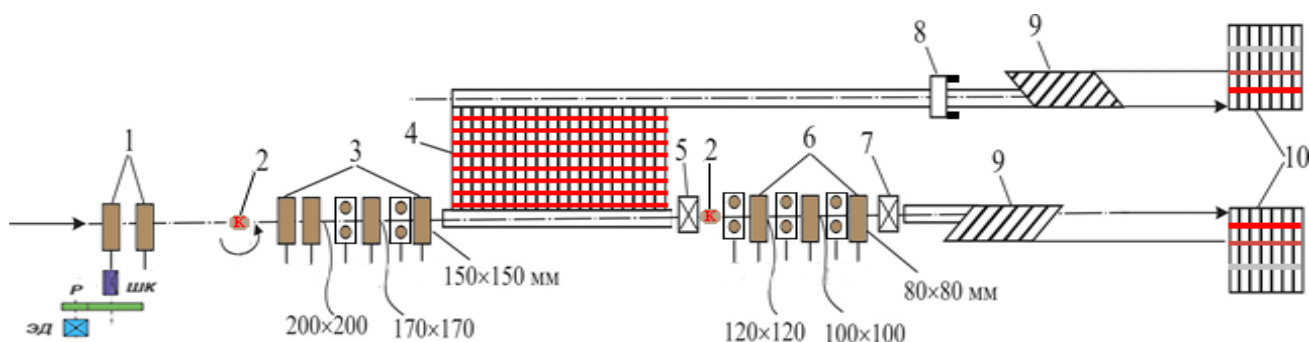


Рис. 3.19. Непрерывно-заготовочный стан 900/700/500

ПАО «АрселорМиталКривожсталь»:

- 1 - черновые клетки 900×1300; 2 - кантователь; 3 - первая непрерывная (черновая) группа клетей; 4 - шлеппер; 5 - летучие маятниковые ножницы с усилием реза 2,0 МН; 6 - вторая непрерывная (чистовая) группа клетей; 7 - летучие рычажно-планетарные ножницы с усилием реза 1,5 МН; 8 - кривошипные ножницы с усилием реза 10 МН с нижним резом; 9 - пакетирующие рольганги; 10 - холодильники



Рис. 3.20. Внешний вид клетей 900 (1-й и 2-й) со стороны блюминга

Деление на черновые и чистовые группы клетей до некоторой степени условно. Просто такое расположение клетей более рационально при прокатке крупных заготовок, в частности – с размером стороны квадрата 150–200 мм. Это исключает прохождение уже сформированной полосы через все клетки стана. Промежуток между группами клетей таков, что раскат целиком уместается между ними, тем самым возможна его кантовка на необходимый угол (рис. 3.22). В каждой из групп клетей раскат одновременно находится в нескольких клетях одной группы, что требует синхронизации скоростного режима прокатки [6].

Длина бочки всех вертикальных валков составляет 800 мм, горизонтальных валков первой и второй групп клетей – 1300 мм, а горизонтальных валков третьей группы клетей – 800 мм.

Рабочая клеть с горизонтальными валками выполнена в классическом исполнении и состоит из двух станин, соединенных между собой траверсами. Станины стальные, литые, закрытого типа. На верхней части станин расположен механизм установки верхнего валка.

Поскольку на НЗС линия прокатки сохраняется постоянной, то горизонтальная клеть может перемещаться в горизонтальной плоскости, а вертикальная – в вертикальной плоскости. На НЗС 900/700/500 станина вертикальной клетки вместе с рабочими валками, подушками и механизмами перемещения валков размещена внутри стационарной рамы, закрепленной на плитовинах. Привод вертикальных валков размещен на клетки сверху.



Рис. 3.21. Вид клеток группы 500 в линии стана (по мере удаления: вертикальная – горизонтальная – вертикальная соответственно)



Рис. 3.22. Кантователь раската перед 3-й клетью

Расстояния между первой и второй технологическими группами клеток (так же, как и между второй и третьей) таковы, что раскат полностью выходит из каждой предыдущей группы, не попадая в последующую. Для этого применяется шлеппер (рис. 3.23).

После прокатки во второй группе клеток получают товарные квадратные заготовки сечением 200×200, 170×170 и 150×150 мм (соответственно из 4-й, 6-й или 8-й клеток стана). Форма и размеры калибров, режимы прокатки и диаметры валков представлены в табл. 3.5, из которой видно, что во всех клетях применены ящичные (прямоугольные и квадратные) калибры (рис. 3.24). Для заготовок сечения 200×200 и 170×170 мм в последующих (незадействованных) клетях предусмотрены холостые калибры.



Рис. 3.23. Шлепкерное поле перед группой клетей 500

Таблица 3.5

**Форма и размеры калибров, диаметры валков и режимы прокатки заготовок сечением 150×150 мм из бруса сечением 320×320 мм**

Клеть	Форма калибра	Размеры калибра, мм		Поперечное сечение раската (по металлу)			Коэффициент вытяжки	Обжатие, мм	Номинальный диаметр валков, мм	Угловая скорость валков, об/мин
		ширина	глубина вреза	высота, мм	ширина, мм	площадь, мм <sup>2</sup>				
1		370	60	250/234	343	81740	1,19	75	910	13,00
2		370	60	200/184	360	67000	1,22	50	965	14,80
3		234	90	290	220/206	59400	1,13	70	910	19,44
4		234	90	230	225	48200	1,23	60	965	22,10
5		254	60	170/166	248	40500	1,19	60	730	34,20
6		188	60	188/181	184	32800	1,23	67	760	40,10
7		210	50	144/132	203	27400	1,20	52	730	48,80
8		156	63	152	152	22400	1,22	51	760	59,80



а)



б)

Рис. 3.24. Вид валков 3-й клетки с ящичными калибрами (а) и направляющими проводками (б)

Товарные заготовки сечением  $200 \times 200$  и  $170 \times 170$  мм, а также часть заготовок сечением  $150 \times 150$  мм по шлепперу 4 (см. рис. 3.23) передают на рольганг и далее к ножницам 8 (рис. 3.25), где их разрезают на мерные длины и пакетируют в пакет на рольганге 9 (рис. 3.26).

Подкатом для группы клетей 500 является квадрат со стороной 150 мм. Перед задачей в валки первой клетки 3-й группы зачищают передний конец раската в летучих ножницах (рис. 3.27) и кантуют его на  $45^\circ$ . В этой группе клетей прокатывают товарные квадратные заготовки сечением  $120 \times 120$ ,  $100 \times 100$  и  $80 \times 80$  мм. Форма, размеры калибров, режимы прокатки и диаметры валков показаны в таблице 3.6.

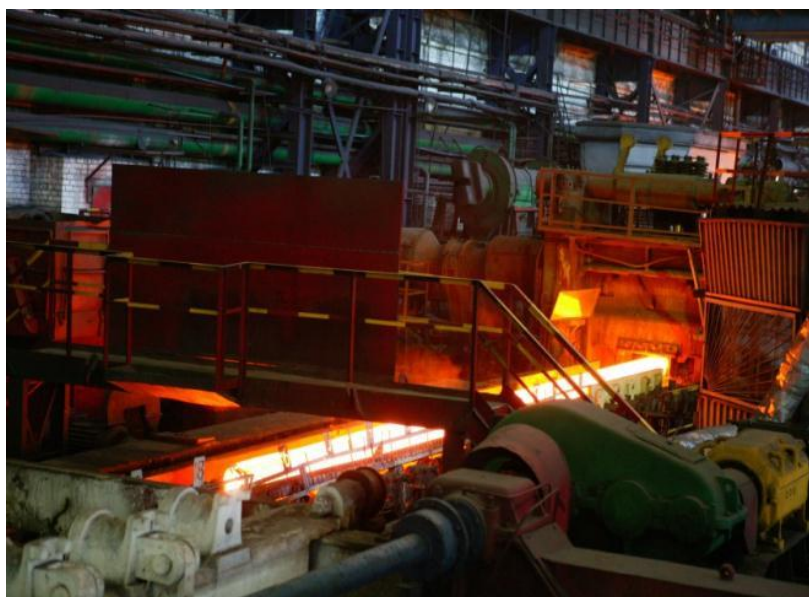


Рис. 3.25. Ножницы с нижним резом





Рис. 3.26. Пакетирующий рольганг



Рис. 3.27. Летучие ножницы

Таблица 3.6

**Форма и размеры калибров, диаметры валков и режимы прокатки заготовок сечением 80×80 мм из квадратного подката сечением 150×150 мм**

Клеть	Форма калибра	Размеры калибра, мм		Поперечное сечение раската (по металлу)			Коэффициент выгибки	Обжатие, мм	Номинальный диаметр валков, мм	Угловая скорость валков, об/мин
		ширина	глубина вреза	высота, мм	ширина, мм	площадь, мм <sup>2</sup>				
9		203	71,5	157	200	17530	1,277	38	580	79,80
10		160	78,5	168	160	14800	1,18	32	600	92,30
11		178	59	127	173	11830	1,25	33	580	115,14
12		133	64	136	132	9700	1,22	37	600	136,70
13		161	45	98	151	7890	1,23	34	580	167,60
14		110	50,5	105	105	6180	1,28	46	600	210,30

Из таблицы 3.6 видно, что применяется калибровка валков ромб-квадрат. При этом товарные квадраты обязательно выпускаются из горизонтальных клетей.

После последней клетки стана раскат попадает в летучие ножницы 7 (см. рис. 3.27) и режется в них на мерные длины. Горячие заготовки пакетируются (рис. 3.26) на рольганге 9. После рольгангов 9 пакеты заготовок поступают на холодильники (рис. 3.28).



Рис. 3.28. Холодильники стана

Из группы клетей 700 (см. рис. 3.19) раскат выходит со скоростью 1,8–2,3 м/с, а из группы клетей 500 – 3,5–7 м/с. Охлажденные на холодильнике до температуры 40–500 °С, заготовки убираются с помощью кранов (рис. 3.29) и укладывают в штабели (рис. 3.30), либо подают на загрузочные решетки нагревательных печей последующих сортовых прокатных станов.



Рис. 3.29. Уборка заготовки краном с холодильника



Рис. 3.30. Штабели заготовки на складе

Для замедленного охлаждения заготовок из легированных марок стали обычно предусматривают неотопливаемые колодцы. Товарные заготовки могут подвергаться термической обработке в термических печах.

На складах НЗС предусмотрена ручная огневая и абразивная зачистка, а также абразивная зачистка на специальных станках (для высоколегированных сталей и сплавов).

Производительность стана – около 5 млн т в год (по заготовке). На нем можно также прокатывать круглую заготовку диаметром 105, 120, 140, 170 и 220 мм [11].

### **3.3. Производство горячекатаной заготовки в системе технологий «МНЛЗ-заготовочный стан»**

#### ***3.3.1. Технологическая схема производства***

На заготовочных станах производство горячекатаной заготовки в системе технологий «МНЛЗ-заготовочный стан» осуществляют из слитков малого развеса или непрерывнолитых блюмов (рис. 1.4). Наиболее современный вид данной системы технологий реализован при производстве горячекатаной заготовки из качественных марок стали на полунепрерывном заготовочном стане 700 ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (г. Старый Оскол, Россия).

Полунепрерывный заготовочный стан 700 произведен фирмой SMS Demag. Проектная производительность стана 1 240 тыс. т/год, в том числе: трубной заготовки 550 тыс. т; круглых заготовок 633 тыс. т (из них 120 тыс. т в обточенном состоянии) и квадратных заготовок 57 тыс. т.

Проектный профильный и марочный сортамент стана включает: заготовки трубные  $\varnothing 100\text{--}180$  мм из шарикоподшипниковых и легированных конструкционных (ГОСТ 4543-74) сталей, поставляемых в обточенном состоянии; круглых заготовок  $\varnothing 80\text{--}120$  мм по ГОСТ 4543-74, заготовок квадратного сечения  $70\times 70\text{--}110\times 110$  мм из конструкционных углеродистых и легированных марок сталей. Схема расположения основного технологического оборудования приведена на рис. 3.31.

### 3.3.2. Подготовка металла к прокатке

Исходной заготовкой служат литые блюмы сечением  $300\times 360$  мм, длиной 6–12 м, массой 5–10 т, получаемые на установках непрерывной разливки электросталеплавильного цеха и поступающие по двум рольгангам на склад заготовок после поштучного автоматизированного взвешивания.

При нормальной работе стана один из рольгангов используют для подачи блюмов к нагревательным печам, а второй рольганг – для приемки блюмов на склад для пакетирования их по три на десяти погрузочно-разгрузочных столах, откуда пакеты блюмов убирают электромагнитными кранами на стеллажи (рис. 3.32), для складирования металла в штабели в соответствии с заданной программой загрузки 280-и стеллажей.

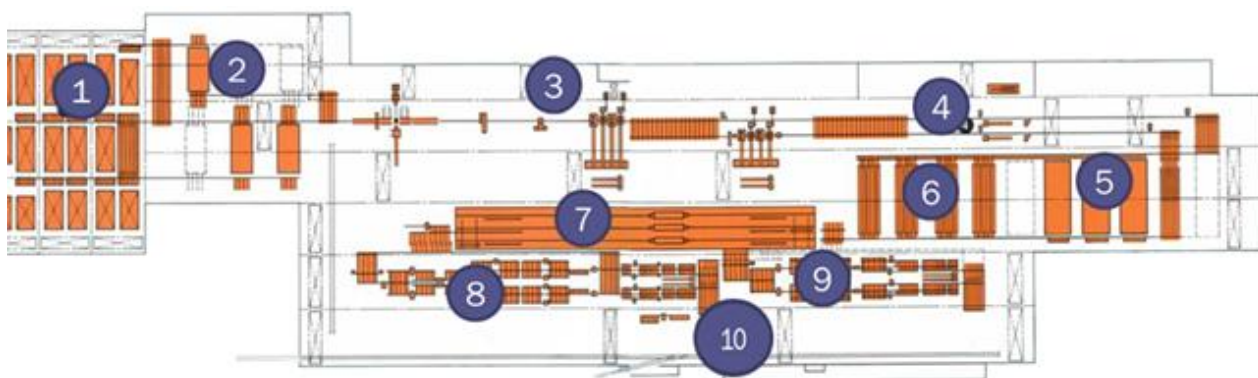


Рис. 3.31. Схема компоновки агрегатов заготовочного стана 700:

- 1 – склад холодных заготовок; 2 – печи предварительного нагрева и печь гомогенизации;
- 3 – заготовочный прокатный стан; 4 – пилы горячей резки; 5 – печи отжига; 6 – холодильник с кантовкой; 7 – высотный промежуточный склад; 8 – отделение зачистки; 9 – отделение обдирки; 10 – склад готовой продукции

На подводящем рольганге нагревательных печей визуально контролируется маркировка каждого блюма перед поступлением на загрузочные устройства, которые обеспечивают сталкивание одного длинного или двух коротких блюмов с рольганга на загрузочный стол. С загрузочного стола заготовки поштучно захватываются шагающими балками печи: заготовки длиной 4–6 м в два ряда, длиной 7–12 м в один ряд.

Две нагревательные печи относятся к типу методических с шагающими балками, торцевой загрузкой и выдачей заготовки (рис. 3.33). Работают на холодном посаде.



Рис. 3.32. Вид стеллажей для складирования пакетов непрерывнолитых блюмов (в пакете 3 шт.)



Рис. 3.33. Внешний вид нагревательной печи

Средняя производительность печи 150 т/ч. Топливо-природный газ с минимальной теплотой сгорания 36,87 МДж/м<sup>3</sup>. Печь обеспечивает нижний нагрев посредством боковых и торцевых горелок, а верхний нагрев – излучением от свода. Горелки плоскопламенные (66 шт.), двухпроводные с регулируемой длиной факела (6 шт.) и длиннопламенные малогабаритные (12 шт.) распределены по шести зонам: двум подогревательным, двум нагревательным и двум томильным. Печи обеспечивают качественный нагрев блюмов до температуры прокатки 1 250 °С с отклонением в 20 °С по длине и сечению заготовки. Режимы нагрева приведены в таблице 3.7.

Печи оборудованы системами управления и автоматизации, обеспечивающими автоматическое поддержание заданного режима нагрева.

Блюмы из шарикоподшипниковых сталей (ШХ15СГ, ШХ15) после нагрева до 1200 °С по отводящему рольгангу передаточным шлеппером длиной 51 м поштучно

передают со скоростью 2,4 м/с к загрузочному устройству печи гомогенизации (рис. 3.34). Цель гомогенизации заключается в растворении избыточных фаз и выравнивание химического состава блюмов.

Таблица 3.7

**Режимы нагрева заготовок на стане 700**

Параметр	Марки сталей		
	Шарикоподшипниковые	Низколегированные	Углеродистые
Шаг укладки блюмов, мм	460	460	460
Температура выдачи, °С	1 250	1 220	1 220
Температура печи в томильной зоне, °С	1 300/1 350	1 350	1 350
Удельное время нагрева, мин/см	8,8	7,1	6,8
Общее время нагрева, мин	260	210	200
Скорость нагрева металла до 600 °С, °С/ч	300-360	Не ограничивается	

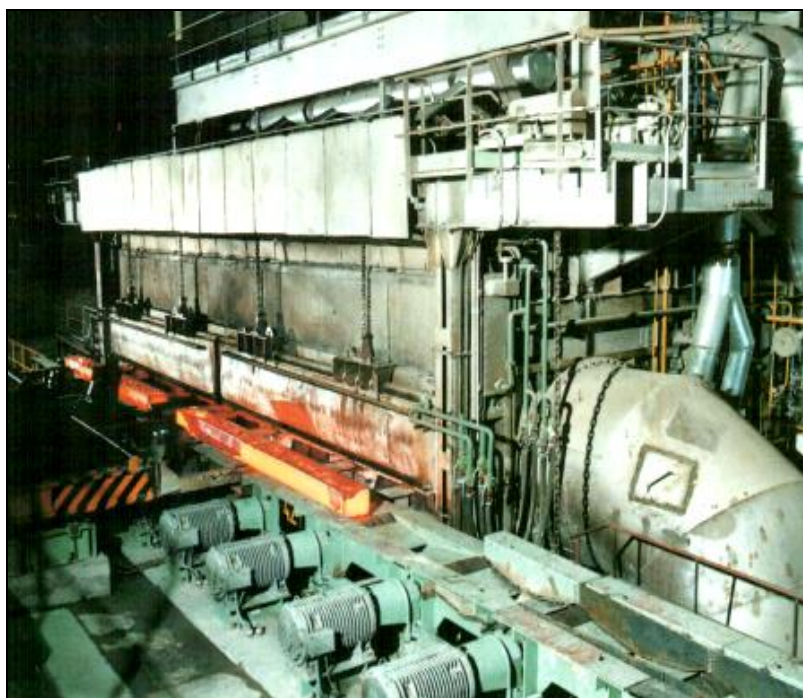


Рис. 3.34. Внешний вид печи гомогенизации

Печь гомогенизации может работать в двух режимах: гомогенизации и нагрева. При работе в режиме гомогенизации в печь загружают 600 т блюмов, нагревают их до 1 200 °С в течение  $\leq 2$  ч, после чего печь закрывают, и она работает как некамерная печь. Режим гомогенизационного обжига металла следующий:

– выдержка металла при 1 180 °С.....2 часа

- выдержка металла при 1 220 °С.....2 часа
- выдержка металла при 1 180 °С.....2 часа

Всего 8 часов, считая от начала загрузки металла в печь.

Схема регулирования обеспечивает автоматическое поддержание заданной температуры в течение всего периода выдержки.

В режиме нагрева печь работает как обычная проходная печь, обеспечивающая качественный нагрев блюмов до температуры прокатки со средней производительностью 75 т/ч. Печь гомогенизации оборудована 86 горелками, из которых 60 плоскопламенных и 26 – двухпроводных с регулируемой длиной факела. Горелки распределены по восьми зонам: двум подогревательным, четырем нагревательным и двум томильным.

Прошедшие гомогенизацию (или просто нагретые) блюмы поштучно выдают на рольганг и через передаточный шлеппер поступают на линию прокатки. На последнем его участке длиной 5 м установлены шагающие балки, на которых может быть размещено 10 блюмов. Этот участок используется как холодильник при прокатке с контролируемой температурой, когда температура начала прокатки должна быть ниже температуры гомогенизации. Скорость транспортировки 1,7 и 2,75 м/с [11].

### 3.3.3. Схема расположения и характеристики оборудования

Схема расположения оборудования полунепрерывного заготовочного стана 700 представлена на рис. 3.35.

Нагретые блюмы по рольгангу проходят через систему гидросбива окалины, оборудованную 14 соплами, для подачи воды под давлением 19,5 МПа. Расход воды через каждое сопло составляет 6 м<sup>3</sup>/ч. Очищенный от окалины блюм поступает в обжимную двухвалковую реверсивную клеть 1000 (рис. 3.36 и 3.37).

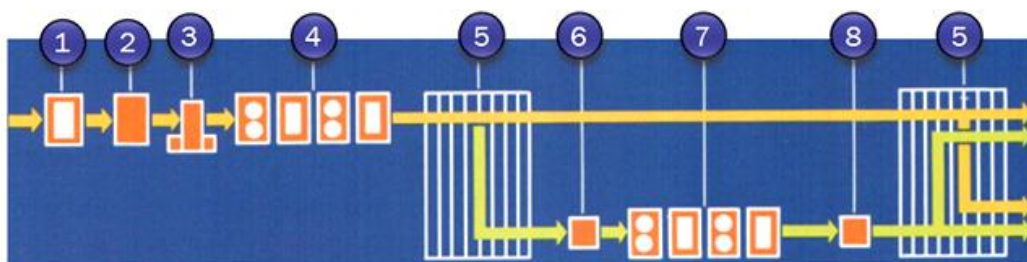


Рис. 3.35. Схема расположения оборудования:

- 1 – реверсивная клеть дуо; 2 – машина огневой зачистки; 3 – ножницы горячей резки;
- 4 – линия непрерывной прокатки I; 5 – решетка поперечной транспортировки (шлеппер);
- 6 – маятниковые ножницы; 7 – линия непрерывной прокатки II;
- 8 – четырехкривошипные ножницы

Обжимная клеть 1000, по сути дела – «малый» блюминг, полностью автоматизирована, что обеспечивает точное выполнение установленного режима обжатия металла и высокий уровень производительности стана.

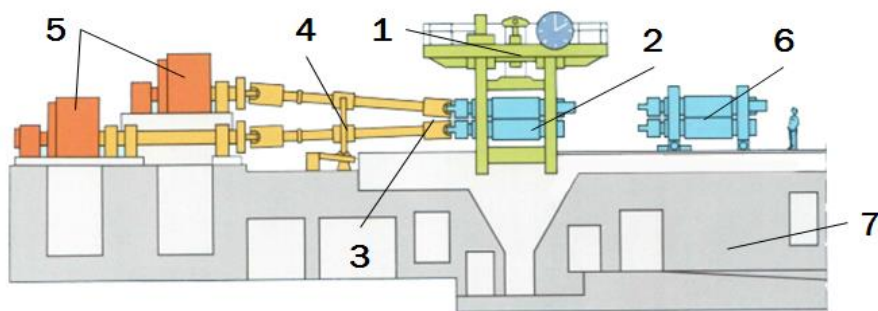


Рис. 3.36. Схема главной линии реверсивной рабочей клетки дуо 1000:

- 1 - рабочая клетка со станинами закрытого типа; 2 - рабочие валки реверсивной клетки дуо;  
 3 - универсальные шпиндели; 4 - устройство для уравнивания шпинделей;  
 5 - сдвоенный привод от двигателей постоянного тока (2×3 500 кВт); 6 - тележка для перевалки валков; 7 - фундамент



Рис. 3.37. Внешний вид клетки дуо 1000

Номинальный диаметр рабочих валков из кованой стали 50ХН составляет 950 мм, максимальный – 1000 мм, минимальный – 860 мм. Длина бочки рабочих валков 2200 мм. Валки установлены в подшипниках качения. Максимально допустимое усилие прокатки 10 МН.

Нажимное устройство верхнего валка электромеханическое. Винты приводятся от индивидуальных электродвигателей вертикального исполнения, работающих синхронно с помощью паразитной шестерни.

Привод каждого рабочего валка индивидуальный от 3,5 МВт электродвигателя с частотой вращения ротора 0–60–150 об/мин через шпиндельное соединение. Скорость прокатки в этом случае составляет 0–6 м/с. Минимальная температура конца прокатки 1050 °С. С передней и задней сторон обжимная клетка оборудована манипуляторными линейками и установленными на правых (по ходу прокатки) линейках кантователями.



Перед клетью 1000 установлен роликовый кантователь для кантовки на 90° раскатов сечением менее 234×234 мм (диаметр роликов 350 мм, масса раската до 10 т, время кантовки 4 с). Предусмотренное проектом ручное управление оборудованием клетки 1000 используется при настройке механизмов.

Дефектные раскаты, а также раскаты, дальнейшая прокатка которых по тем или иным причинам не может производиться на стане, рольгангами и шлеперами возвращаются на склад литых заготовок.

Дефекты поверхности раскатов удаляются машиной огневой зачистки металла (МОЗ), установленной за клетью 1000. Для транспортировки раскатов через МОЗ (с постоянной скоростью) с передней и задней стороны установлены трайбаппараты (усилие прижима 0,6 МН). МОЗ обеспечивает сплошную зачистку заготовок сечением 150×150–234×234 мм на глубину 1,2–2,2 мм при скоростях перемещения металла 15–45 м/мин. Количество зачистных блоков – четыре, необходимое давление кислорода – 1,23–1,76 МПа, природного газа – 0,21–0,56 МПа. Если раскаты не требуют огневой зачистки, МОЗ выводится из потока и заменяется выдвигным рольгангом.

После МОЗ раскаты транспортируют к кривошипным ножницам с параллельными ножами, с нижним резом и усилием резания металла – 800 т (рис. 3.38). На них производится удаление дефектных концов раскатов и аварийная порезка раскатов на габаритный scrap.

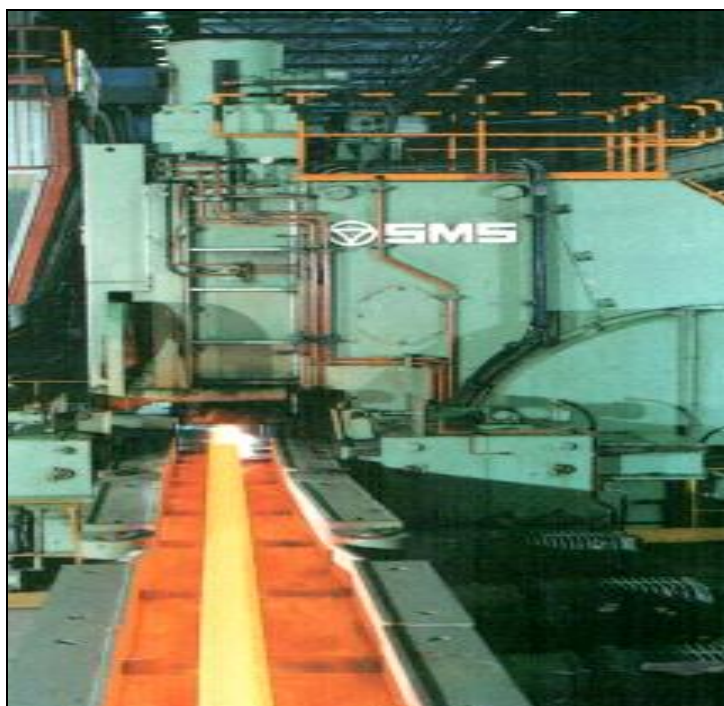


Рис. 3.38. Внешний вид ножниц между клетью 1000 и непрерывной группой I

Ножницы оборудованы верхним прижимом и механизмом для подъема секции рольганга во время перерезания раската. Минимальная температура разрезаемого раската – 800 °С. В рабочем режиме ножницы осуществляют один рез в минуту,

а при порезке раската на скрап – 10 резов в минуту. Обрезь металла падает под ножницы на пластинчатый транспортер, передается в соседний скрапной пролет стана и попадает в металлические короба, позволяющие разделить обрезь по маркам стали. Длина обрезь – не более 600 мм. Автоскrapовозами и большегрузным автотранспортом обрезь вывозится в цехи сталеплавильного производства комбината.

От ножниц горячей резки раскат поступает к первой непрерывной группе из четырех клетей (рис. 3.35, позиция 4, и рис. 3.39), две из которых (1В и 3В) с вертикальными валками и две (2Г и 4Г) – с горизонтальными. Расстояние между клетями 6 м. Диаметры рабочих валков клетей 1В и 2Г: максимальный – 800 мм, номинальный – 800 мм, минимальный – 730 мм. Длина бочки валков – 1200 мм. Максимально допустимое усилие прокатки 5,5 МН. Диаметры рабочих валков клетей 3В и 4Г: номинальный – 700 мм, максимальный – 720 мм, минимальный – 650 мм. Длина бочки валков – 1200 мм. Максимально допустимое усилие прокатки 4,5 МН. Привод рабочих валков каждой клетки индивидуальный: горизонтальных клетей – от 1 350 кВт электродвигателя (350–850 об/мин) через редуктор, шестеренную клеть и шпиндельное соединение; вертикальных клетей – каждого валка от 675 кВт электродвигателя (350–850 об/мин) через комбинированный редуктор.



Рис. 3.39. Две линии непрерывной прокатки (I и II), соединенные решеткой для поперечной транспортировки проката

Группа клетей оборудована системой автоматического контроля усилий и крутящего момента прокатки, контроля длины раскатов и температуры металла заготовки (в трех точках по длине раската и регистрации среднего значения).

Готовый прокат из первой группы клетей транспортируют на участок пил горячей резки. Если от раската намечается отрезка проб и их клеймение, то передний конец раската отрезается стационарной пилой, расположенной напротив второй непрерывной группы. Дальнейшая порезка этого раската на части, отрезка проб, а также порезка всей остальной продукции стана осуществляется на пилах горячей резки, установленными в двух линиях, которые связаны передаточным шлеппером.

Подкаты из линии I передаются шлеппером в линию II. Передаточный 60-метровый шлеппер для одновременной транспортировки шести раскатов со скоростью 1,2 м/с на расстояние 12 м оборудован балками для размещения 12 раскатов (с целью охлаждения при контролируемой прокатке) и решеткой для укладки бракованных заготовок (5 раскатов).

Поперечный шлеппер, помимо транспортных функций, обеспечивает осуществление междеформационной паузы при прокатке металла. Регламентированное по времени охлаждение раскатов на воздухе обеспечивает получение требуемого температурного режима «контролируемой прокатки».

Перед клетью 5В установлены летучие «маятниковые» ножницы с усилием резания 4МН, предназначенные для отрезания неровных, дефектных передних концов раскатов, деления раскатов на две части по длине, а также для аварийной порезки металла на скрап (рис. 3.40).



Рис. 3.40. Маятниковые ножницы перед клетью 5В

Максимальное сечение разрезаемой квадратной заготовки 160×160 мм или круг  $\varnothing 195$  мм. Раствор ножей 400 мм, длина 460 мм, частота резания 38 резов/мин. Управление работой ножниц ручное. Перед маятниковыми ножницами установлен кантователь, который используется только при прокатке квадратной стали, обеспечивая кантовку раската на 45°.

После зачистки (удаления) переднего конца, раскат направляется в непрерывную группу II, состоящую из двух вертикальных (5В и 7В) и двух горизонтальных (6Г и 8Г) клетей, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой.

Горизонтальные и вертикальные клетки, а также их привода по конструкции и характеристикам такие же, как клетки 3В и 4Г в непрерывной группе I. Если из клетки 6Г выдается готовая продукция (выходная клетка), то клетки 7В и 8Г заменяют направляющими трубами, укрепляемыми на рамах.

Перевалочные устройства для обеих групп клеток однотипны, что позволяет одновременно заменять валки всех клеток: клетями для горизонтальных и кассетами для вертикальных. Сменные клетки и кассеты установлены напротив работающих клеток со стороны обслуживания (рис. 3.41).

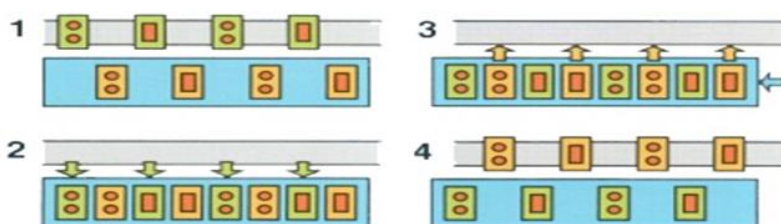


Рис. 3.41. Схема переделки рабочих клеток

Выходящий из непрерывной группы клеток II прокат поступает в четырехкривошипные летучие ножницы (рис. 3.42).



Рис. 3.42. Внешний вид четырехкривошипных летучих ножниц

Ножницы обеспечивают деление раската длиной  $> 64,2$  м на две части, удаление переднего конца, отбор для клеймения проб, аварийную порезку раската на части, порезку на длины 12 м при выходе из строя пил горячей резки. Усилие резания на летучих ножницах составляет 3,8 МН, а максимальное разрезаемое сечение: квадратное 110×110 мм или круглое  $\varnothing 160$  мм. Максимальная частота резания – 90 резов/мин при скорости движения раската 0,9–1,9 м/с. С передней стороны ножниц установлен трайбаппарат, обеспечивающий транспортировку раската после выхода его из последней клетки непрерывной группы II. Готовый прокат после летучих ножниц

направляется на участок пил горячей резки. В каждой линии горячей резки установлены передвижная и стационарная пилы, а также машины для клеймения проката и проб в торец. Весь сортовой прокат разрезают на длины 9–12 м, трубные заготовки – на 10–12 м, а также клеймят в торец. Работа всех агрегатов участка автоматизирована и управляется ЭВМ.

Готовый прокат сталкивателями передают на подъемно-шагающие решетки шлепперов. Передаточный шлеппер передает его на рольганг для последующего охлаждения на 4-х секционном холодильнике (рис. 3.43) или термической обработки в 3-х печах отжига (рис. 3.44) с последующим окончательным охлаждением на воздухе с использованием секций холодильника.

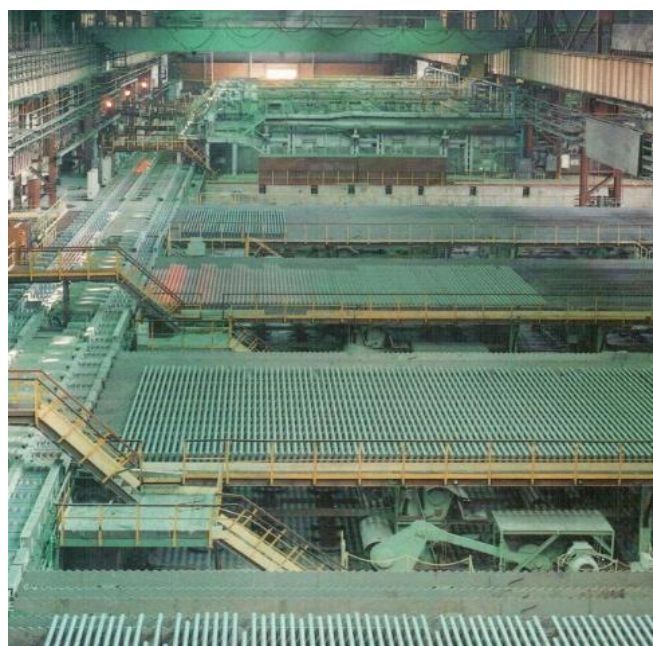


Рис. 3.43. Внешний вид 4-секционного холодильника



Рис. 3.44. Внешний вид термических печей отжига

Весь прокат после холодильника поступает в высотный склад (длина 187,6 м, ширина 17,8 м, высота 17,4 м) для хранения на межоперационный период. На складе имеется четыре ряда стоек с 20-ю горизонтальными полками, образующими три прохода, где работают загружающие и выгружающие прокат штабелеры (рис. 3.45) [11].



Рис. 3.45. Внешний вид стеллажей высотного склада

### 3.3.4. Технология производства заготовки

На рис. 3.46 показана калибровка валков реверсивной клетки дуо 1000. Непрерывнолитые блюмы сечением 360×300 мм прокатываются в квадратный подкат двух сечений: 230×230 мм и 190×190 мм. При этом сечение 230×230 мм получают за пять проходов, а сечение 190×190 мм – за семь проходов (обычное условие прокатки). В то же время, блюмы из малоуглеродистых сталей с начальной длиной 5 м можно прокатать в сечение 190×190 мм за пять проходов.

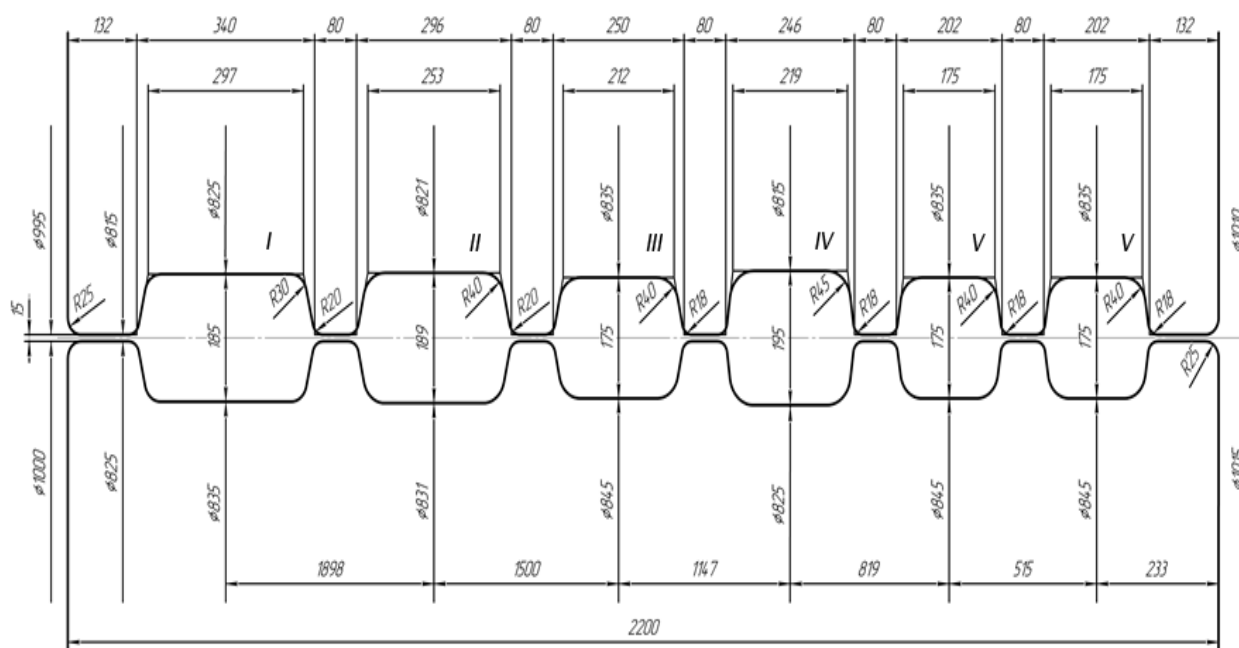


Рис. 3.46. Расположение калибров валков реверсивной клетки дуо 1000

Параметры прокатки подката сечением 230×230 и 190×190 мм приведены в таблице 3.8, из которой видно, что технология обжатия непрерывнолитого блюма такая же, как и технология обжатия слитка на блюминге. Единственным отличием следует считать то, что используется в 2 раза меньшее число проходов.

Таблица 3.8

**Параметры прокатки непрерывнолитого блюма 360×300 мм в подкат квадратного сечения 230×230 и 190×190 мм в обжимной клетке**

Проход, калибр	H, мм	B, мм	F, мм <sup>2</sup>	L <sub>р</sub> , м	Δ H, мм	n <sub>в</sub> , об/мин	v <sub>пр</sub> , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
Схема 1							
1, I	305	308	95000	6,8	55	60	2,59
2*	255	317	81100	7,9	50	67	2,89
3, II	270	263	70850	9,1	47	77	3,32
4*	222	273	59700	10,8	48	80	3,45
5, IV	230	230	51162	12,6	43	90	3,86
Схема 2							
1, I	305	308	95000	6,8	55	60	2,59
2*	255	317	81100	7,9	50	67	2,89
3, II	260	266	68710	9,4	57	60	2,59
4*	210	277	57050	11,3	50	72	3,10
5, III	220	224	48240	13,3	57	60	2,64
6*	178	235	39870	16,1	42	82	3,61
7, V	190	190	34580	18,6	45	90	3,96
Схема 3							
0	360	300	107470	6,0	-	-	-
1, I	285	311	89585	7,2	75	51	2,2
2*	210	325	67768	9,5	75	51	2,2
3, III	250	225	55154	11,6	75	51	2,24
4*	177	241	40037	16,0	73	53	2,33
5, V	190	190	34580	18,6	51	57	2,51

Примечание:

1. Расчетные катающие диаметры по калибрам, мм: I – 825; II – 823; III – 840; IV – 820; V – 840;

2. По схеме 1 прокатывают заготовки из углеродистых сталей; по схеме 2 – из легированных;

3. Скоростной режим прокатки по схемам 1 и 2 построен с учетом примерного равенства циклов прокатки: время прокатки 28,7 и 29,2 с; паузы 30,4 и 30,0 с. Время прокатки по схеме 3 – 16,4 с, паузы – 23,0 с.

\*После прохода – кантовка на 90°.

В первой группе клетей получают готовые профили проката Ø140–155,2 мм из пяти тонных квадратных подкатов сечением 190×190 мм и Ø160,3–187,9 мм из десяти тонных квадратных подкатов сечением 230×230 мм, которые дальше направляются

на участок резки. Режим обжатий при прокатке круглой заготовки  $\varnothing 80$  и  $\varnothing 95$  мм, а также квадратной заготовки со стороной 70 мм и 100 мм приведены в табл. 3.9 и 3.10 соответственно.

Передельные заготовки мелких сечений (до 80 мм по диаметру круга и до 70 мм по стороне квадрата) получают из клеток второй четырехклетевой группы заготовочного стана. Кроме того, на стане применяются «универсальные» схемы обжатия, обеспечивающие получение стандартных размеров проката из промежуточных клеток стана с горизонтальными валками (клетки 4 и 6).

Таблица 3.9

**Режим обжатий при прокатке круглого проката  
 $\varnothing 80$  и  $\varnothing 95$  мм на заготовочном стане 700**

Клеть	H, мм	B, мм	F, мм <sup>2</sup>	L <sub>р</sub> , м	n <sub>в</sub> , об/мин	v <sub>пр</sub> , м/с
1	2	3	4	5	6	7
<i>Подкат: H = 190 мм, B = 190 мм, F = 34726 мм<sup>2</sup>, L<sub>р</sub> = 17,6 м</i>						
1В	160	224,2	27228	22,2	21,0	0,78
2Г	168		22167	27,2	26,2	0,97
3В	112,7	192,7	16782	36,0	38,0	1,29
4Г	128,0		12868	47,0	50,6	1,68
5В	83,5	153,6	9916	61,0	36,8	1,30
6Г	100,0		7854	77,0	47,7	1,65
7В	67,2	121,36	6305	95,9	56,9	2,05
8Г	81,0		5158	117,2	71,0	2,51
<i>Подкат: H = 230 мм, B = 230 мм, F = 51162 мм<sup>2</sup>, L<sub>р</sub> = 12,0 мм</i>						
1В	198,5	266,1	40097	15,1	18,5	0,65
2Г	205		33006	18,3	22,8	0,80
3В	143,6	228,4	25340	23,9	32,6	1,05
4Г	157,0		19359	31,3	43,4	1,38
5В	104,6	182,8	14782	40,9	31,7	1,09
6Г	121,0		11499	52,6	41,7	1,40
7В	81,3	144,0	9057	66,8	50,2	1,77
8Г	96,2		7274	83,2	63,9	2,21

Примечание. Калибры в клетях 1В, 3В, 5В, 7В – овальные; в клетях 2Г, 4Г, 6Г, 8Г – круглые.

Температура металла перед клетью 1В должна быть не менее 1 020 °С, а перед клетью 5В – не менее 950 °С. В клетях заготовочного стана прокатка металла ведется с небольшим межклетевым натяжением. Проектный режим прокатки круглых профилей предусматривал использование системы калибров «овал-круг-овал», а прокатку квадратных профилей – системы «ромб-квадрат».



**Режимы обжатий при прокатке квадратной заготовки  
со стороной 70 и 100 мм на заготовочном стане 700**

Клеть	H, мм	B, мм	F, мм <sup>2</sup>	L <sub>p</sub> , м	n <sub>в</sub> , об/мин	v <sub>пр</sub> , м/с
1	2	3	4	5	6	7
<i>Подкат: H = 190 мм, B = 190 мм, F = 34726 мм<sup>2</sup>, L<sub>p</sub> = 17,6 м</i>						
1В	137	216,4	27312	22,2	23,7	0,88
2Г	164,5	152	22568	26,8	29,5	1,07
3В	109	175,9	17816	34,0	40,7	1,36
4Г	132,2	122	14692	41,2	50,7	1,65
5В	115,3	182,1	10472	57,8	34,6	1,22
6Г	91,0		8260	73,3	45,2	1,55
7В	87,4	144,3	6271	96,6	56,8	2,04
8Г	70,9		5014	120,8	72,5	2,55
<i>Подкат: H = 230 мм, B = 230 мм, F = 51162 мм<sup>2</sup>, L<sub>p</sub> = 12,0 мм</i>						
1В	188	252,2	43450	13,9	22,0	0,75
2Г	195	210,7	37230	16,2	26,0	0,88
3В	149	216,2	29850	20,3	34,5	1,07
4Г	158,9	170,8	24680	24,5	42,6	1,30
5В	170,8	223,1	19018	31,8	28,8	0,97
6Г	126		15845	38,2	35,4	1,16
7В	133,3	187,8	12534	48,3	42,8	1,47
8Г	101,3		10248	59,0	53,2	1,80

Примечания:

1. Калибры в клетях 1В–4Г – ящичные; в клетях 5В и 7Г – ромбические, в клетях 6Г и 8Г – квадратные диагональные;

2. Размеры в клетях 5В, 7В даны по диагонали ромбических калибров, в клетях 6Г и 8Г – по стороне получаемого квадратного сечения раската.

Раскаты с неравноосными поперечными сечениями (овальные и ромбические) выпускаются из вертикальных валков и от сваливания удерживаются вводными и выводными проводками: плоскими – перед и за клетями 1В и 3В; перед клетями 2Г, 4Г, 6Г и 8Г установлены роликовые вводные проводки, а за этими клетями – выводные проводки скольжения. При прокатке металла в системе калибров «ромб-квадрат», кантовка раскатов на 45° перед их задачей в ромбический калибр клетки 5В выполняется втулочным кантователем, установленным перед этой клетью. Перед вводной арматурой клетки 5В установлены калиброванные тянущие ролики.

Схема калибровки валков первой и второй непрерывных групп приведена на рис. 3.47.

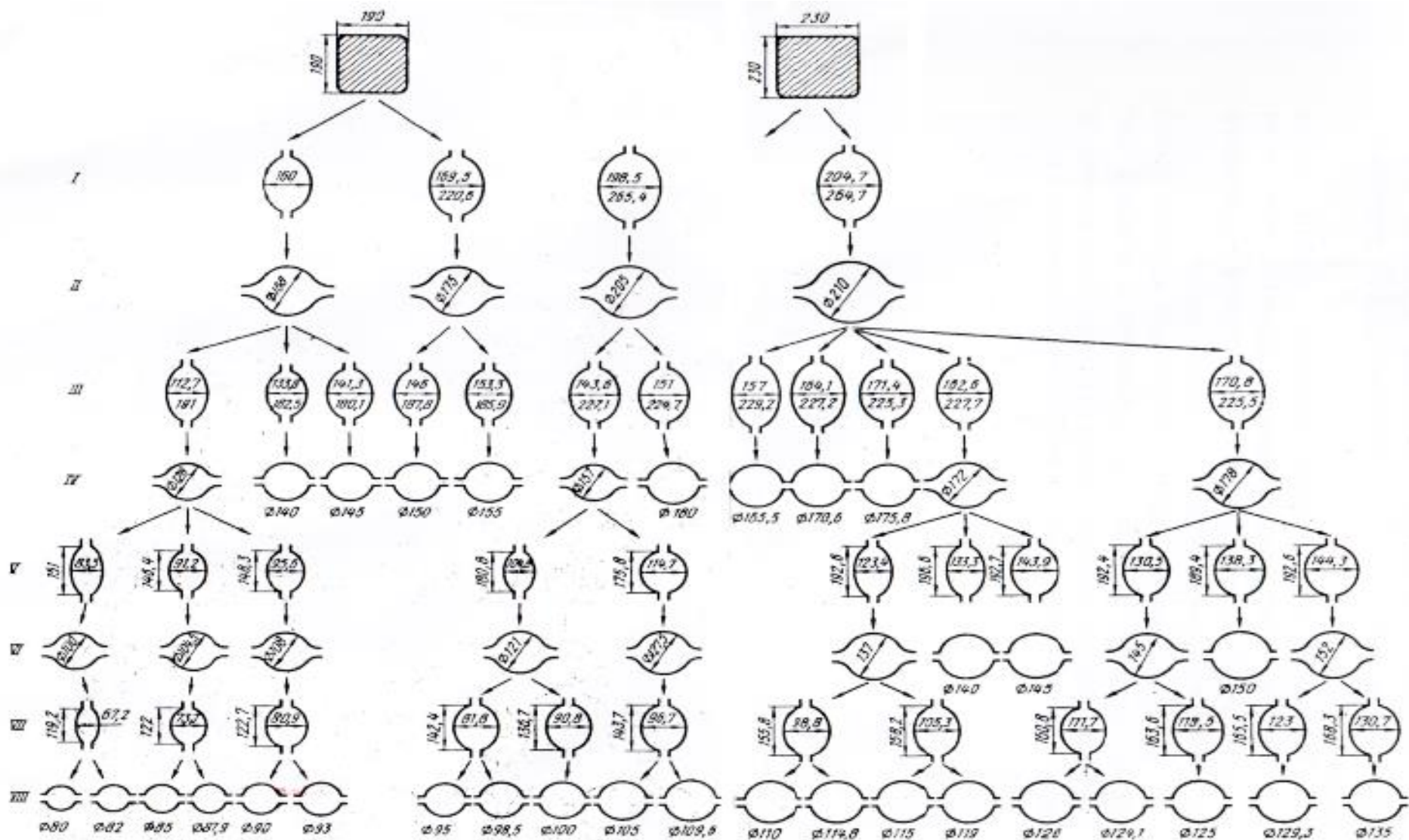


Рис. 3.47. Схемы калибровки валков первой и второй непрерывных групп стана 700 при прокатке круглого проката  $\varnothing 80-175,8$  мм

Для повышения устойчивости раскатов с неравноосными сечениями в проектную калибровку клетки 1В было внесено изменение, а именно: вместо овального или ромбического калибра применена «гладкая бочка» и установлена простейшая выводная арматура скольжения – плоские вкладыши в арматурной коробке. Такая калибровка используется как универсальная для всего сортамента стана и позволяет уменьшить массу валка на 1,2 т (на 16 %).

В роликую коробку перед клетью 2Г устанавливаются цилиндрические ролики, стойкость которых возросла в 3 раза, в сравнении с роликами, спрофилированными для направления овальных раскатов в эту клеть. Изменение калибровки бочки валка клетки 1В потребовало внесения корректив в проектную калибровку валков клетки 2Г – вместо круглого калибра выполняется «ящичный» калибр, форма которого очень близка к форме вертикального овального калибра клетки 3В («стрельчатый» квадрат).

Эксплуатация чугуновых валков на предчистовой и чистой клетях стана позволила улучшить качество поверхности горячего проката и уменьшить расход валков. При прокатке круглых профилей диаметром 120 мм и более, а также квадратов со стороной 110 мм и более, используются прочные отбеленные двухслойные валки из легированного чугуна марки СШН-38 и СШН-42.

Профили меньших размеров прокатывают на валках марок СПХН-45 и СПХН-49. При эксплуатации чугуновых валков стоимость одного калибра возросла до 4–5 тыс. т, т.е. в 2–2,5 раза (в зависимости от размера прокатываемого профиля).

На стане внедрена технология наплавки бочек и калибров изношенных валков на более крупные размеры после износа бочек до минимального диаметра.

После окончания прокатки металла в клетях первой и второй групп раскаты направляются на участок пил горячей резки. Порезанные и замаркированные прутки (штанги), в зависимости от технологического маршрута обработки в прокатном цехе, направляются по двум потокам:

- на четыре холодильника с шагающими решетками;
- в три поточных термических печи с шагающими балками.

Рейки холодильников имеют профилированные зубья, форма и размеры которых обеспечивают поворот охлаждаемых прутков вокруг продольных осей симметрии во время их транспортировки. Это создает условия для равномерного охлаждения и сохранения прямолинейности прутков. Движущийся по холодильникам металл (порядка двух часов) охлаждается увлажненным вентиляторным воздухом с 800 °С до 80 °С. Емкость четырех холодильников – 940 т. После требуемых условиями деформационно-термического упрочнения металла в технологическом потоке стана деформационной паузы, которая создается двухсекционным реечным шлеппером-холодильником, горячие прутки перемещаются шагающими балками с гидроприводом. Металл, требующий поточной термической обработки, охлаждается на этом шлеппере-холодильнике до температуры поверхности 400–600 °С. Охлажденный металл канатным передаточным шлеппером транспортируется на загрузочный рольганг термических печей.

В термических печах стана 700 (печи отжига металла) предусмотрено два режима работы:

- проходной режим (ритм металла на стане);
- садочный режим (камерный).

Производительность печи определяется режимом ее работы, размером профиля, маркой стали проката и временем работы печи.

Производительность одной печи в проходном режиме обработки прутков диаметром 80 мм из стали ШХ-15 составляет 50 т/ч, а при  $\varnothing 120$  мм – 103,5 т/ч, соответственно.

Производительность трех термических печей стана рассчитана на полное обеспечение двух агрегатов отделки проката термически обработанным металлом в объеме 1,24 млн т в год.

После термической обработки металл по рольгангу передается на четыре холодильника для охлаждения до 800 °С. Охлажденный металл взвешивается и передается на промежуточный высотный склад, где хранится на его стеллажах. Основное назначение промежуточного склада:

- пункт развязки между прокатным станом и установками для последующей обработки;
- выполняет функцию распределителя для отделения отделки, состоящего из участков зачистки и обдирки (рис. 3.48 и 3.49).

Склад автоматизирован и обслуживается тремя кранами-штабелерами.

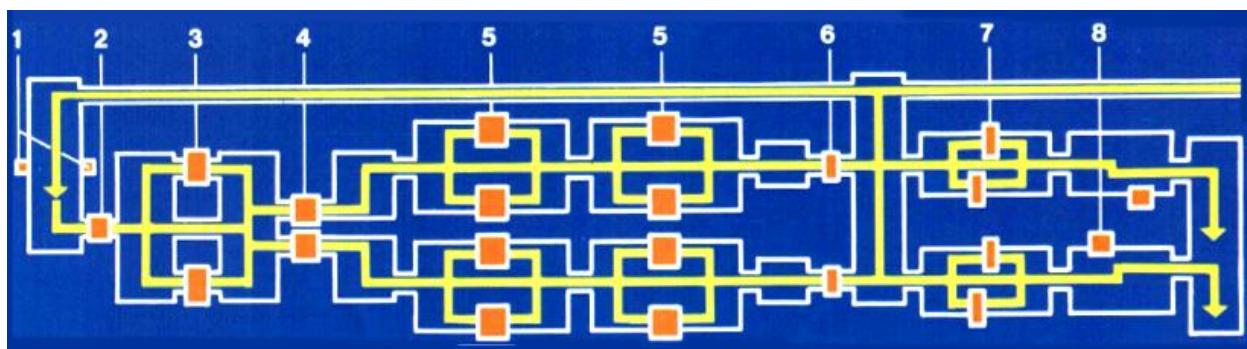


Рис. 3.48. Схема участка абразивной зачистки проката:

- 1 – фаскосъемные машины (2 шт.); 2 – дробеметная машина; 3 – правильные машины (2 шт.);
- 4 – установки для контроля поверхности (2 шт.); 5 – шлифовальные установки (8 шт.);
- 6 – установки для контроля внутренних дефектов (2 шт.); 7 – пилы холодной резки (4 шт.);
- 8 – установки формирования пачек (2 шт.)

ЭВМ управляет работой оборудования склада, хранит в своей «памяти» параметры и места расположения металла. Это значительно снижает затраты времени, необходимого персоналу для нахождения металла по графику для передачи на агрегаты отделки, а затем и на участок его отгрузки.

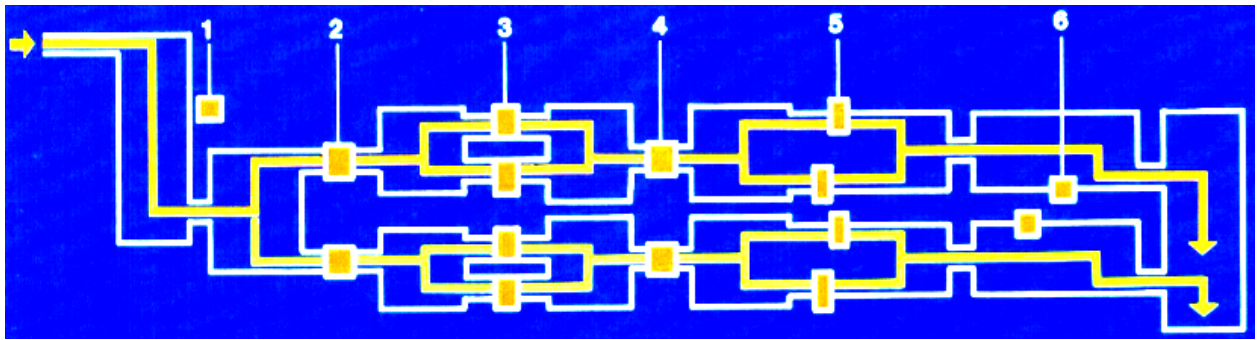


Рис. 3.49. Схема участка токарной обточки проката:

1 – фаскосъемная машина; 2 – правильные машины (2 шт.); 3 – обдирочные станки (4 шт.); 4 – установки для контроля поверхности и внутренних дефектов (2 шт.); 5 – пилы холодной резки (4 шт.); 6 – установки формирования пачек (2 шт.)

Обслуживающий персонал цеха по заказу оперативно получает из ЭВМ необходимую производственную информацию на мониторах или в виде машинограмм. Практика эксплуатации высотного склада на стане 700 убедительно показала его неоспоримые производственные преимущества перед традиционной технологией хранения сортового проката в штабелях.

Проектная производительность линии абразивной зачистки проката составляет 570 000 т/год, а агрегата токарной обточки проката – 670 000 т/год.

После обдирки и заточки прутки скатываются по разгрузочной решетке и подаются рольгангом на линии контроля поверхностных и внутренних дефектов, далее – на порезку, клеймение, пакетирование и обвязку. Технологический процесс отделки на указанных участках, характеристики используемого оборудования рольгангов и системы управления аналогичны. Готовые пакеты передают на склад готовой продукции [11].

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой блюминг, его предназначение?
2. Какие операции включает в себя технологический процесс прокатки в обжимном цехе?
3. В чем заключается отличие блюминга от блюминга-слябинга?
4. Какие преимущества, по сравнению с использованием блюминга, имеет отливка заготовок на установках непрерывной разливки стали?
5. От чего зависит температура нагрева слитков в нагревательных рекуперативных колодцах обжимного цеха?
6. Для чего предназначены на блюминге машина огневой зачистки, ножницы?
7. Какие варианты размещения калибров у прокатных валков применяют на блюминге?
8. В чём заключаются особенности технологического режима обжатий на блюминге?

9. Где размещаются заготовочные станы и какие преимущества даёт их применение?

10. Какой тип заготовочных станов применяется в обжимных цехах главным образом?

11. Какие заготовочные станы являются наиболее эффективными?

12. Из каких исходных заготовок осуществляется производство горячекатаной заготовки на заготовочных станах в системе технологий «МНЛЗ-заготовочный стан»?

13. Цель гомогенизации литых блюмов перед прокаткой на заготовочных станах?

14. Для чего в линии заготовочных станов устанавливаются трайбаппараты?

15. Какие преимущества обеспечиваются эксплуатацией чугуновых валков на предчистовой и чистой клетях заготовочных станов?

## ГЛАВА 4. ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВОГО ПРОКАТА

### 4.1. Производство железнодорожных рельсов

#### 4.1.1. Рельсобалочные станы

Рельсобалочные станы выпускают в основном железнодорожные рельсы тяжелого типа (в термообработанном виде) и двутавровые балки крупного сечения. На станах прокатывают также и другие крупные сортовые профили: швеллеры, уголки, шпунты для гидросооружений, круглую заготовку и т.д. Для производства этих профилей в цехе установлены также соответствующие печи и устройства для термической обработки.

В настоящее время рельсы в РФ производятся на трёх крупных металлургических комбинатах, расположенных в Урало-Сибирском регионе:

- Нижнетагильский металлургический комбинат («ЕвразХолдинг»);
- Западно-Сибирский металлургический комбинат («ЕвразХолдинг»);
- Челябинский металлургический комбинат («Мечел»).

По состоянию на январь 2014 года в Украине эксплуатируются (с разной степенью загрузки) три линейных рельсобалочных стана (таблица 4.1).

На рис. 4.1 представлен план расположения оборудования рельсобалочного стана 900/800 ПАО «МК «Азовсталь» конструкции УЗТМ для прокатки:

- термически обработанных рельсов тяжелого типа (50, 65 и 75 кг/пог. м) стандартной длины 25 м;
- широкополочных двутавровых балок (высотой до 600 мм с шириной полок до 250 мм) и швеллеров высотой 300–400 мм;
- стали угловой равнополочной 180x180–230x230 мм;
- шпунтовых профилей длиной 6–24 м;
- круглой заготовки диаметром 120–350 мм и длиной 5–8 м.

В качестве исходной заготовки для прокатки этих профилей применяют блюмы сечением до 350x350 мм, длиной 3–5 м и массой 2–5 т [13].

От блюминга 1200 блюмы шлеппером подают к нагревательным печам. Если блюмы поступают со склада, то их краном загружают на приемные решетки и с них на загрузочный (печной) рольганг рельсобалочного стана.

Такая конструкция стана позволяет перед нагревом производить осмотр блюмов и при наличии поверхностных дефектов их удалять. Это способствует повышению качества проката и позволяет вести прокатку в оптимальном температурном режиме.

Таблица 4.1

**Действующие рельсобалочные станы на металлургических предприятиях Украины (на начало 2014 года)**

Стан	Предприятие	Год постройки	Исходное сечение блюма, мм	Основной сортамент готовой продукции	Максимальная длина проката, м	Кол-во клетей
925	ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского»	1902	195x205-325x375	Рельсы Р38-Р50; рельс контактный для метрополитена; двутавровая балка №27Са; шпунтовая свая Ларсена Л4-Л7; полоса 230x115; заготовка квадратная сечением 160x160 мм	Сваи: 18, Рельсы: 12,5	4
1000/ 800	ПАО «МК «Азовсталь»»	1948	230x280-340x330	Рельсы Р50-Р75, С49; швеллер № 24-30; шпунт ШП-1, ШК-1, ШДС; полоса для подкладок Д65, Д60, КБ65, КБ50; сталь квадратная со стороной 100-170 мм; сталь круглая диаметром 100-120 мм	25	4
800	ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского»	1950	185x198-260x190	Рельсы крановые КР70...КР140; полоса для подкладок; рельсы Р33; двутавровая балка №22С; швеллер № 22-24; заготовка квадратная со стороной 145-170 мм; сталь круглая диаметром 150 мм	12,5	3



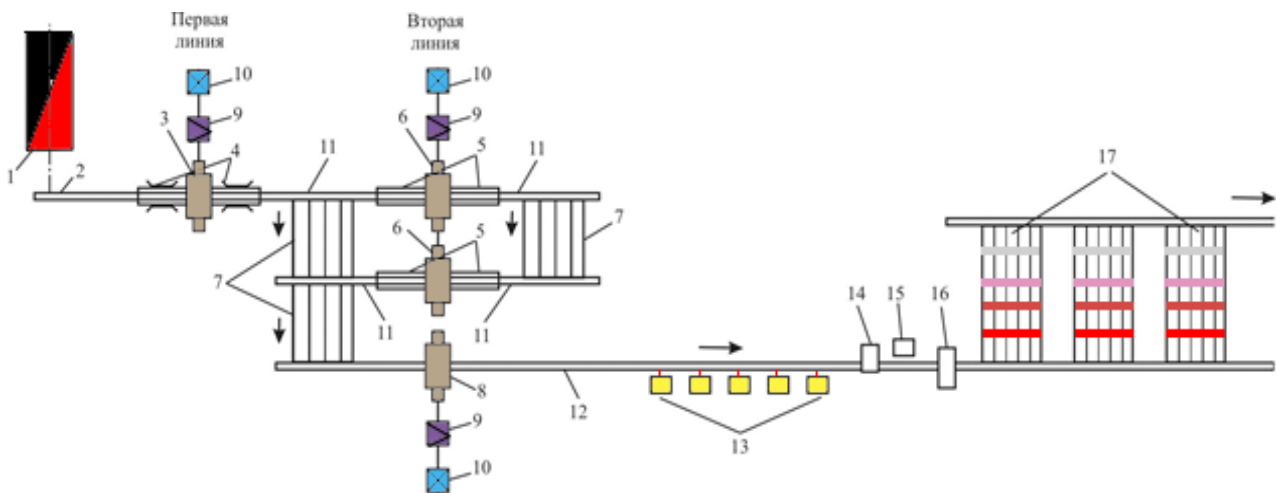


Рис. 4.1. Схема рельсобалочного стана 900/800 ПАО «МК «Азовсталь»» [4]:  
 1 – нагревательная печь; 2 – рольганг; 3 – реверсивная клеть дуо; 4 – манипуляторы, кантователи; 5 – подъемно-качающиеся столы; 6 – черновые клетки трио; 7 – передаточные шлепферы; 8 – чистовая клеть дуо (при прокатке балок устанавливают универсальную клеть); 9 – шестеренные клетки; 10 – электродвигатели главного привода; 11 – рабочие рольганги; 12 – отводящий рольганг; 13 – маятниковые пилы; 14 – клеймовочная машина; 15 – салазковая пила; 16 – гибочная машина; 17 – холодильники

В отличие от рельсобалочных станов последовательно-возвратного типа, рельсобалочный стан 900/800 – наиболее распространенного линейного типа. Он имеет четыре клетки, расположенные в две линии: первая линия состоит из реверсивной двухвалковой клетки 900 (длина бочки валков 2540 мм) с приводом от электродвигателя мощностью 7,5 МВт (65–100–120 об/мин) через зубчатую муфту, шестеренную клетку и универсальные шпиндели; вторая линия состоит из двух черновых трехвалковых клеток 800 (длина бочки валков 1930 мм) и одной чистовой двухвалковой клетки 800 (длина бочки валков 1200 мм). Черновые трехвалковые клетки приводятся от одного электродвигателя мощностью 7,0 МВт, (80–140–180 об/мин), а чистовая двухвалковая клетка – от отдельного электродвигателя мощностью 1 840 кВт (70–140 об/мин) [13].

Характерным для этих станом является наличие в первой линии двухвалковой реверсивной клетки, оборудованной манипуляторами и кантователями с обеих сторон (малый блюминг) [4]. Установка такой клетки при получении исходных подкатов с блюминга позволяет разгрузить его и использовать для прокатки блюмы увеличенного поперечного сечения (340×330 мм), что при длине блюма не более 5,05 м (ограниченна шириной нагревательных печей) увеличивает массу и длину прокатываемых раскатов на рельсобалочном стане.

Широкая регулировка частоты вращения валков позволяет осуществлять захват на пониженной скорости и быстро повышать скорость прокатки после захвата, снижать скорость перед выбросом полосы.

Вторая линия рельсобалочного стана состоит из двух черновых трехвалковых клеток (рис. 4.2) и одной чистовой двухвалковой клетки.

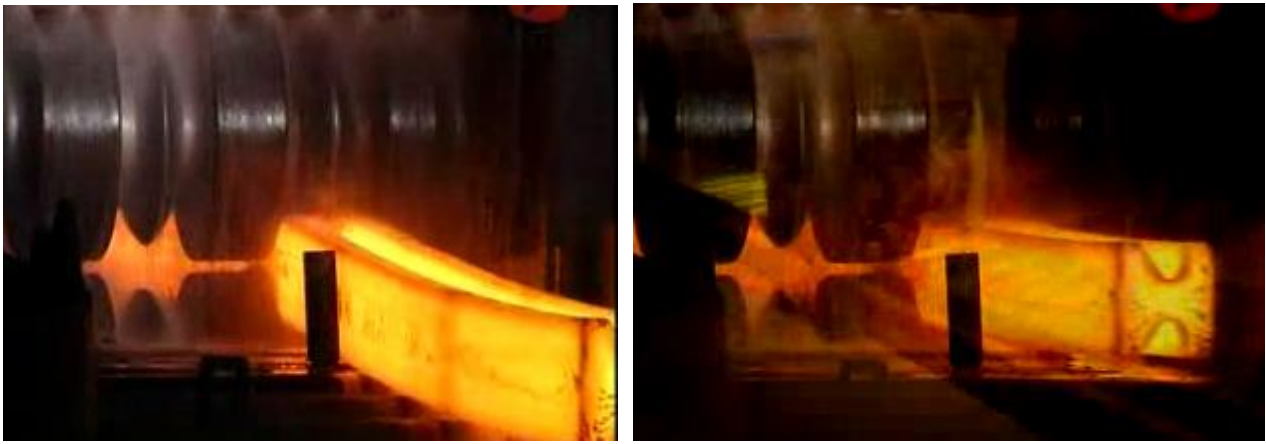


Рис. 4.2. Вид валков первой трехвалковой клетки с разрезными калибрами для прокатки двутавровой балки

Внешний вид рабочей линии трехвалковой клетки показан на рис. 4.3, а ее конструкция – на рис. 4.4.

Валки установлены в подушках на текстолитовых цельнопрессованных вкладышах, охлаждаются водой и периодически подаваемой смазкой.

Осевую регулировку валков осуществляют при помощи боковых планок, а уравнивание верхнего валка пружинное.

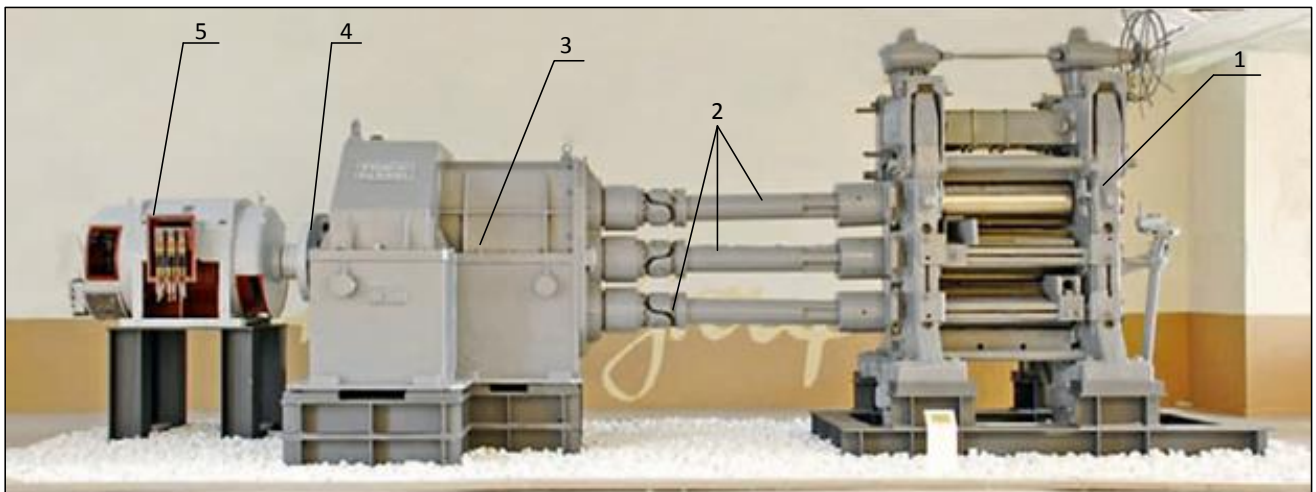


Рис. 4.3. Внешний вид рабочей линии 3-х валковой клетки:  
1 – рабочая клетка трио; 2 – шпиндели; 3 – шестеренная клетка;  
4 – коренная муфта; 5 – привод

Валки трехвалковых клеток соединены между собой треновыми шпинделями и муфтами (рис. 4.5). Валки первой трехвалковой клетки с шестеренными валками соединены тремя шпинделями: концы их со стороны шестеренной клетки шарнирные, а со стороны рабочей клетки – треновые. Все шпиндели имеют пружинное уравнивание. Смену валков чистой клетки осуществляют при помощи подъема всей клетки краном за проушину в верхней крышке [4].

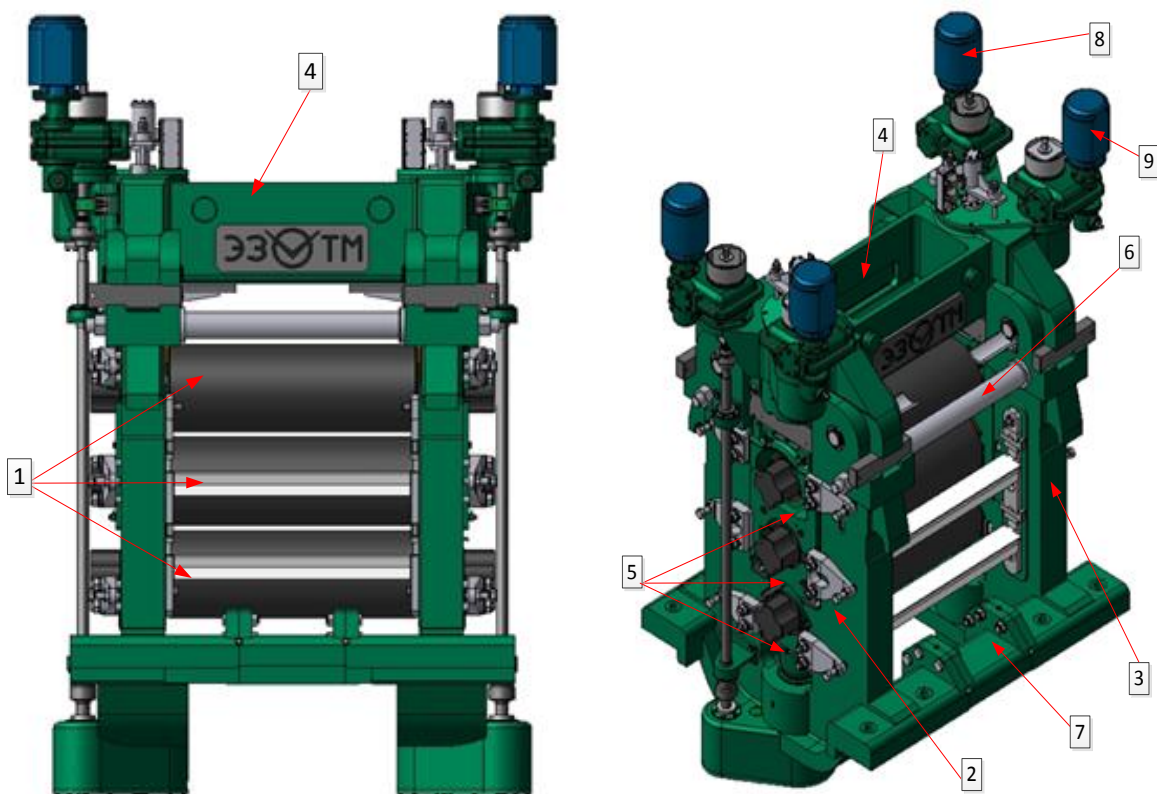


Рис. 4.4. Конструктивная 3D-модель трехвалковой клетки:

- 1 – валки; 2 – левая стойка станины; 3 – правая стойка станины; 4 – крышка;  
 5 – подушки валков; 6 – траверса; 7 – лапы станины; 8 – механизм установки  
 нижнего валка; 9 – механизм установки верхнего валка



а)



б)

Рис. 4.5. Внешний вид тrefового шпинделя с муфтами (а) и отдельно муфты (б)

Черновые клетки трио с обеих сторон оборудованы подъемно-качающимися столами, предназначенными для задачи раската в калибры, образованные ручьями на среднем и верхнем валках. Технологические стадии прокатки раската в трехвалковой клетки следующие: прокатка в нижнем горизонте (между нижним и средним валками) сначала в крайнем правом калибре, а затем в крайнем левом калибре и завершающий

проход прокатки в верхнем горизонте в среднем калибре между средним и верхним валками. Поперечные передачи раската осуществляют при помощи передаточных шлепперов, а вертикальная передача – подъемно-качающимся столом.

Чистовая двухвалковая клеть установлена на одной оси с линией черновых трехвалковых клетей, но имеет самостоятельный электропривод. В чистовой клетке применяют установку валков на подшипниках качения, что способствует повышению точности прокатки.

Для прокатки на стане тавровых балок (высотой до 610 мм) с широкими параллельными полками (шириной до 250 мм) предусмотрена сменная универсальная клеть. Эту клеть устанавливают на место чистовой двухвалковой клетки и через нее полосу пропускают только один раз (чистовой пропуск) для получения балок с параллельными полками (рис. 4.6). В клетке, кроме обычных горизонтальных приводных валков (длина бочки – 1000 мм, диаметр – 600 мм), есть и вертикальные холостые валки (длина бочки – 800 мм, диаметр – 300 мм), расположенные в одной плоскости с горизонтальными [13]. Горизонтальные валки обрабатывают стенку и внутренние поверхности полок, а вертикальные – полки с внешних сторон. Применение универсальной клетки позволяет уменьшить величину уклона внутренней поверхности полок до 8 % и повысить точность профиля. Кроме того, уменьшение трения при прокатке в универсальных клетях снижает затраты на валки.

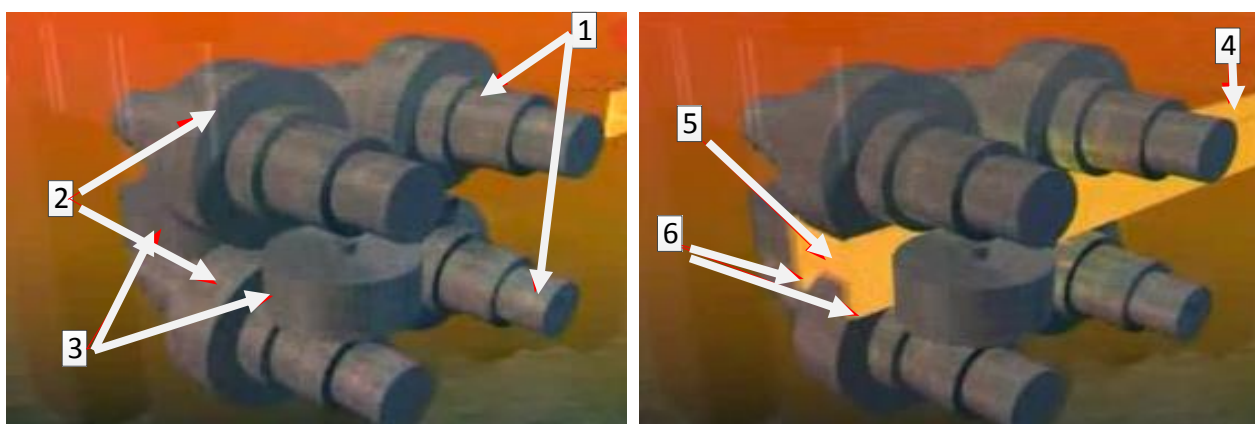
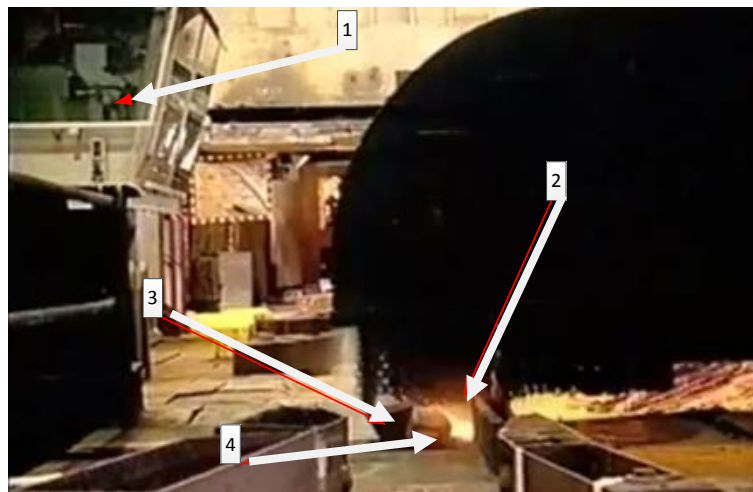


Рис. 4.6. Моделирование процесса прокатки двутавровой балки в съемной универсальной клетке:

1 – валки клетки дуо; 2 – горизонтальные приводные валки съемной универсальной клетки; 3 – вертикальные неприводные валки съемной универсальной клетки; 4 – подкат двутавровой балки; 5 – стенка профиля; 6 – полка профиля

Порезку прокатанных рельсов или балок на мерные длины производят маятниковыми пилами, за которыми установлена клеймочная машина и салазковая пила (рис. 4.7). Охлаждают рельсы и балки на холодильниках, откуда их в дальнейшем передают на отделку и термообработку. Производительность рельсобалочного стана линейного типа 1,5–2 млн т/год [13].

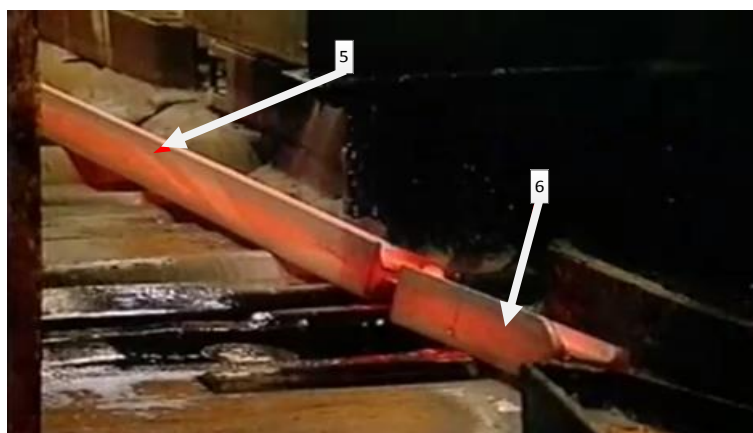
В 2013 году на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК, входит в группу «Мечел») пущен в эксплуатацию универсальный рельсобалочный стан (УРБС) [26].



*a)*



*б)*



*в)*

Рис. 4.7. Стадии порезки рельсового раската на салазковой пиле:  
*a* – начало реза; *б* – завершение реза; *в* – полное отделение задней части раската:  
1 – пульт управления пилой; 2 – диск пилы; 3 – упор; 4 – раскат; 5 – рельс;  
6 – обрезь задней части раската

УРБС ЧМК включает в себя все необходимые технологические операции и использует последние мировые разработки в области прокатки, закалки, правки, отделки и контроля качества фасонного проката широкого марочного профиля и рельсов длиной от 12,5 до 100 метров. В состав оборудования комплекса УРБС ЧМК (рис. 4.8) входят машина непрерывного литья заготовок производственной мощностью 1 млн т/год, двухпозиционный агрегат «ковш-печь» годовой производительностью 1,2 млн тонн стали и двухкамерная установка вакуумирования стали производительностью 650 тыс. т/год [26]. Длина стана составляет 1,5 км. Мощность УРБС – до 1,1 млн тонн готовой продукции в год. Время производства 100-метрового рельса на нем составляет всего 126 с.



Рис. 4.8. Линия УРБС ЧМК [26]

#### ***4.1.2. Технология производства рельсов***

Рельсы различают по назначению (рис. 4.9) [1]:

- железнодорожные рельсы, или рельсы широкой колеи марок Р33–Р75;
- узкоколейные (рудничные) рельсы марок Р8–Р24 (в обоих случаях цифра означает примерно массу в килограммах одного погонного метра профиля);
- трамвайные;
- крановые;
- для метрополитена и др.

Помимо прямого назначения рельсы широко используются в строительстве.

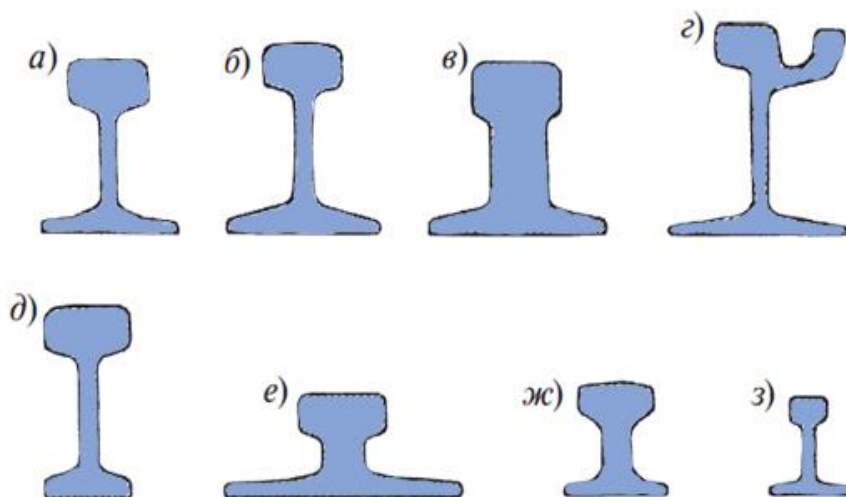


Рис. 4.9. Типы прокатываемых рельсов:

*a, б* – железнодорожные; *в* – для стрелочных остряков; *г* – трамвайные;  
*д* – контррельсы; *е, ж* – подкрановые; *з* – узкоколейные (рудничные)

Железнодорожные рельсы характеризуют массой одного погонного метра длины 43 (Р-43); 50 (Р-50); 65 (Р-65); 75 (Р-75) кг/м (рис. 4.10).

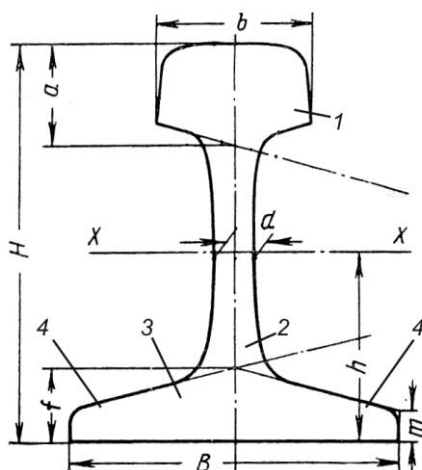


Рис. 4.10. Профиль железнодорожного рельса [4]:

1 – головка; 2 – шейка; 3 – подошва; 4 – фланцы;  
*a, b, B, h, H, m, f* – регламентируемые стандартами размеры

Наиболее ответственным и распространенным является железнодорожный рельс Р-50 (масса 1 пог. м равна 51,5 кг), применяемый для прокладки железнодорожных путей. По ГОСТ 7174-75 (ГОСТ 24182-80) он имеет следующие основные размеры и допуски по ним: высота – 152 (+0,8/-0,5) мм; ширина подошвы – 132 (±1) мм; толщина стенки в среднем сечении – 16 (+0,75/-0,5) мм; средняя толщина подошвы – 10,5 (+1,0/-0,5) мм; ширина головки по основанию – 72 (±0,5) мм; уклон внутренней грани подошвы – 1:4.

Исходным материалом для прокатки железнодорожных рельсов на наиболее распространенных станах линейного типа являются слитки массой 9,8 т, из которых

на блюминге, входящем в состав комплекса рельсобалочного стана, производят (катают) блюмы массой 2–4 т, предназначенные непосредственно для рельсов (из одного слитка получают два блюма). Для производства рельсов используют спокойную высокоуглеродистую сталь с содержанием углерода 0,5–0,78 % [1].

Большая степень деформации слитка способствует разрушению первичной литой структуры металла и благоприятно сказывается на механических свойствах и эксплуатационных показателях рельсов.

На рельсобалочных станах линейного типа прокатку профилей производят после вторичного нагрева блюмов до 1 180–1 200 °С (таблица 4.2). В обжимной клетке за 5–7 проходов получают профилированную полосу длиной 9–12 м, которая в дальнейшем поступает на черновую линию клетей трио. В каждой черновой клетке осуществляют по 3–4 прохода, в которых постепенно формируется заданный профиль рельса. Полученный раскат шлеперами передается в чистовую рабочую клетку дуо, где за один проход окончательно формируется профиль готового рельса.

Температура конца прокатки должна быть не выше 1 000 °С. При более высокой температуре образуется крупнозернистая структура, что значительно ухудшает пластические свойства металла.

Неравномерный нагрев и низкая температура конца прокатки способствуют развитию наружных пороков, влияют на точность размеров профиля.

Изменение формы поперечного сечения раската от прямоугольной или фигурной заготовки к конечной форме рельса происходит путем пропуска металла через систему размещенных по длине бочек валков калибров.

Согласно Б.П. Бахтинову [14], выделяют семь типов схем прокатки рельсов. Наиболее принципиальные моменты с точки зрения практики наиболее распространенных рельсобалочных станов линейного типа отражают две схемы (рис. 4.11), у которых вначале следуют три подготовительных (тавровых) калибров, а затем рельсовые калибры [1].

Назначение подготовительных калибров – обеспечить требуемое распределение металла по сечению подката. Согласно представленной на рис. 4.11а схеме, прокатка ведется в закрытых калибрах и при небольшой ширине подошвы рельса. Это обеспечивает требуемую точность профиля. При прокатке рельсов с широкой подошвой (железнодорожных и особенно трамвайных) применяют прокатку по схеме, представленной на рис. 4.11б.

При этом широко используется явление вынужденного уширения при неравномерном обжатии по сечению. В первом калибре гребнем нижнего валка производится разрезание блюма примерно до его середины. Это важно, потому что средняя часть блюма, как правило, имеет рыхлое строение (рис. 4.12), наследуемое из слитка и лишь частично устранимое при прокатке на блюминге. Также имеются различные включения и загрязнения. После разрезки блюма при дальнейшей прокатке этот объем металла пойдет на формирование наименее ответственного участка рельса – средней части основания его подошвы.



Таблица 4.2

## Технологические параметры прокатки (рельсы и балки)

№ Клетей	№ Пропуска	Балка № 50		Балка № 30		Рельс Р-65		Рельс Р-50		Рельс Р-45	
		Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Вытяжка	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Вытяжка	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Вытяжка	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Вытяжка	Площадь калибра, мм <sup>2</sup>	Вытяжка
Обжимная 900	0	340x120x430=93572		245x320=77600		282x320=87270		270x280=73500		270x280=73500	
	1	89200	1,050	70000	1,110	74600	1,170	63650	1,155	63650	1,155
	2	81700	1,090	58000	1,210	62400	1,195	54850	1,160	54850	1,160
	3	72300	1,130	43000	1,350	53800	1,160	44650	1,230	44650	1,230
	4	63800	1,110	37200	1,150	45600	1,180	37700	1,185	37700	1,185
	5	57500	1,100	32955	1,130	24330	1,830	27100	1,390	27100	1,390
	6	52300	1,100	25022	1,314	-	-	-	-	-	-
	7	45630	1,150	19616	1,275	-	-	-	-	-	-
	8	36430	1,255	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	28896	1,260	-	-	-	-	-	-	-	
1-я трио	1	23546	1,271	13547	1,448	21530	1,130	19180	1,440	18800	1,440
	2	19081	1,234	10343	1,309	18010	1,132	13639	1,406	13360	1,415
	3	15230	1,255	7556	1,368	14311	1,253	10304	1,320	9940	1,340
2-я трио	4	12604	1,206	6181	1,222	11350	1,261	9041	1,140	8660	1,145
	5	10902	1,155	5236	1,180	9890	1,148	7928	1,140	7700	1,125
	6	9804	1,111	4654	1,125	8980	1,100	7125	1,110	7000	1,100
3-я трио	7	9124	1,060	4383	1,062	8350	1,076	6649,7	1,070	6300	1,110

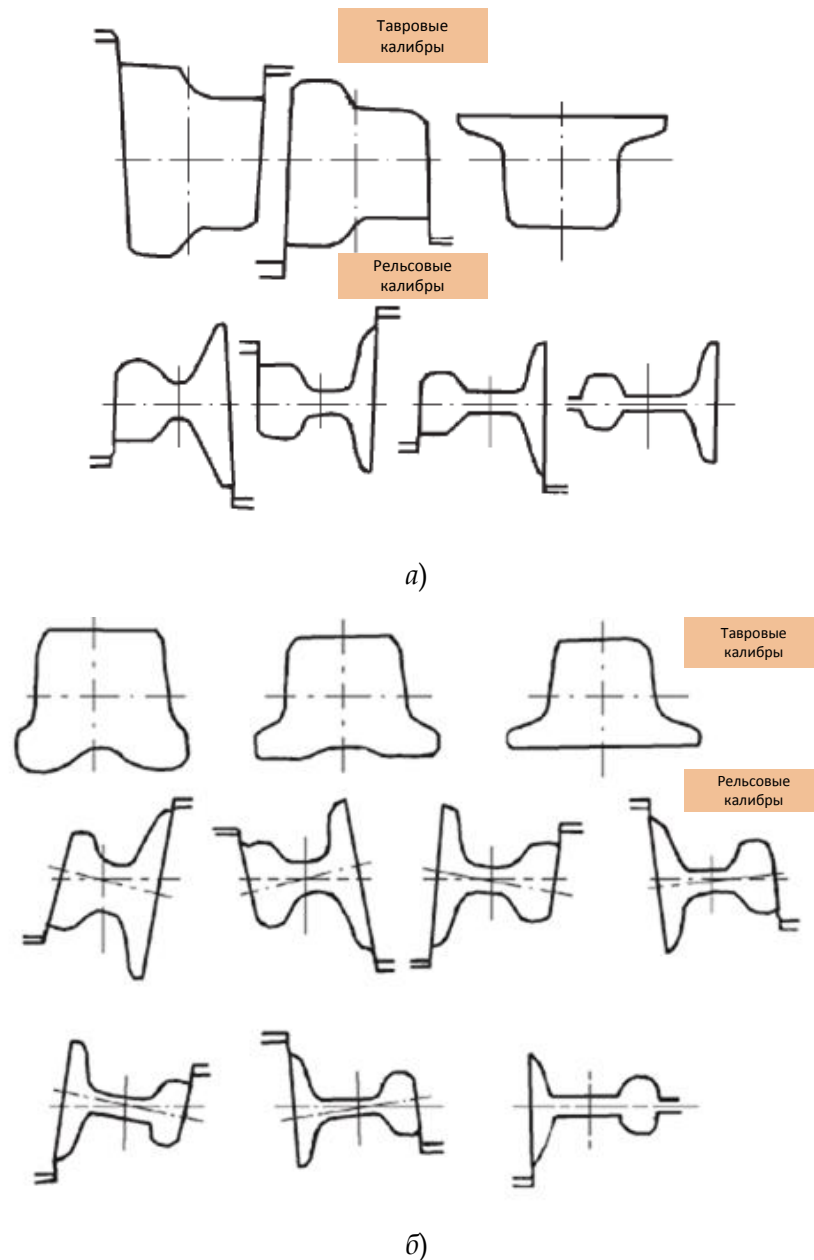


Рис. 4.11. Схемы прокатки рельсов:

*а* – прокатка рельсов с небольшой шириной подошвы; *б* – прокатка рельсов с широкой подошвой (железнодорожные, трамвайные и т.д.)

Следующие два подготовительных калибра необходимы для быстрого наращивания ширины подошвы. Здесь участки будущей подошвы рельса подвергаются значительно большей деформации, чем участки головки и стенки. За счет их взаимодействия возникает значительное вынужденное уширение.

Первый из рельсовых калибров – разрезной, с него начинается формирование элементов профиля. В обеих схемах калибровки (см. рис. 4.11) применяются закрытые рельсовые калибры с чередованием разъемов, как в балочных калибрах. Только чистовой калибр по головке рельса открытый, чтобы обеспечить требуемые по ГОСТу форму головки и радиусы закруглений.



Рис. 4.12. Подушачная рыхлость в сечении горячекатаного бьюма

Разъемы калибров по представленной на рис. 4.11а схеме следуют с одной стороны, а калибры располагаются в валках по горизонтальной оси. Это обеспечивает небольшой врез ручьев в валки и отсутствие осевых усилий на валках при прокатке. Схема с наклонными калибрами (см. рис. 4.11б) дает возможность выдерживать параллельными плоскости подошвы и головки, что особенно важно при прокатке железнодорожных рельсов. Чтобы предотвратить осевое смещение валков при прокатке по этой схеме, часть бочки валков приходится расходовать на замки [1] (рис. 4.13).

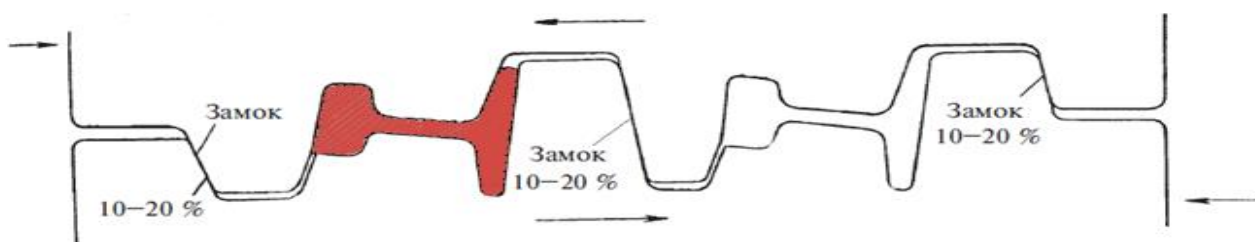


Рис. 4.13. Расположение наклонных рельсовых калибров на валках

Калибровка валков для прокатки рельсов Р-65, используемая в ПАО «МК «Азовсталь»», показана на рис. 4.14 - 4.16 для первой клетки трио (рис.4.14), для второй клетки трио (рис. 4.15) и для чистовой клетки дуо 800 (рис.4.16).

Прокатка рельсов в двухвалковом калибре имеет ряд недостатков. Во-первых, головка рельса не подвергается прямому обжатию по высоте калибра, вследствие чего металл головки может иметь недостаточно плотную и мелкозернистую структуру. Во-вторых, процесс прокатки рельсов в двухвалковых клетях протекает несимметрично и характеризуется более высокими потерями на трение, чем при прокатке в универсальных клетях.

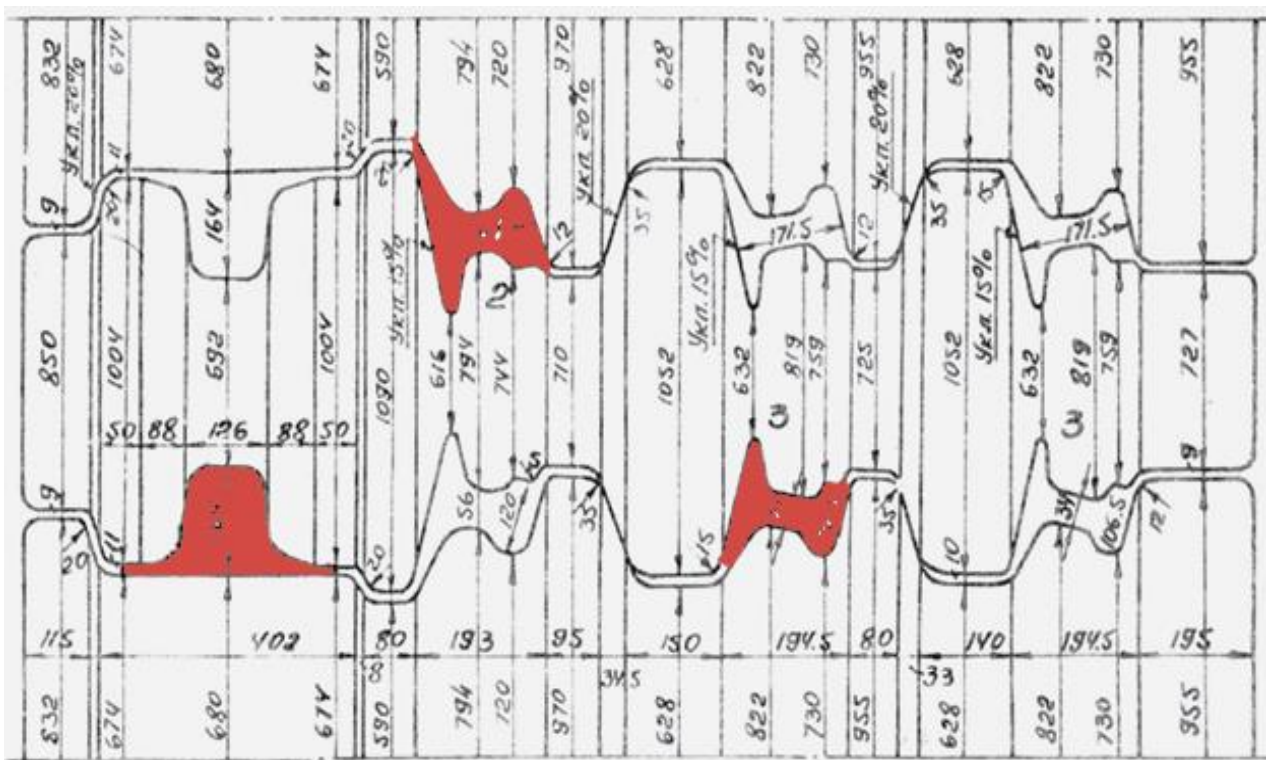


Рис. 4.14. Схема калибровки валков первой клетки трио чистой линии

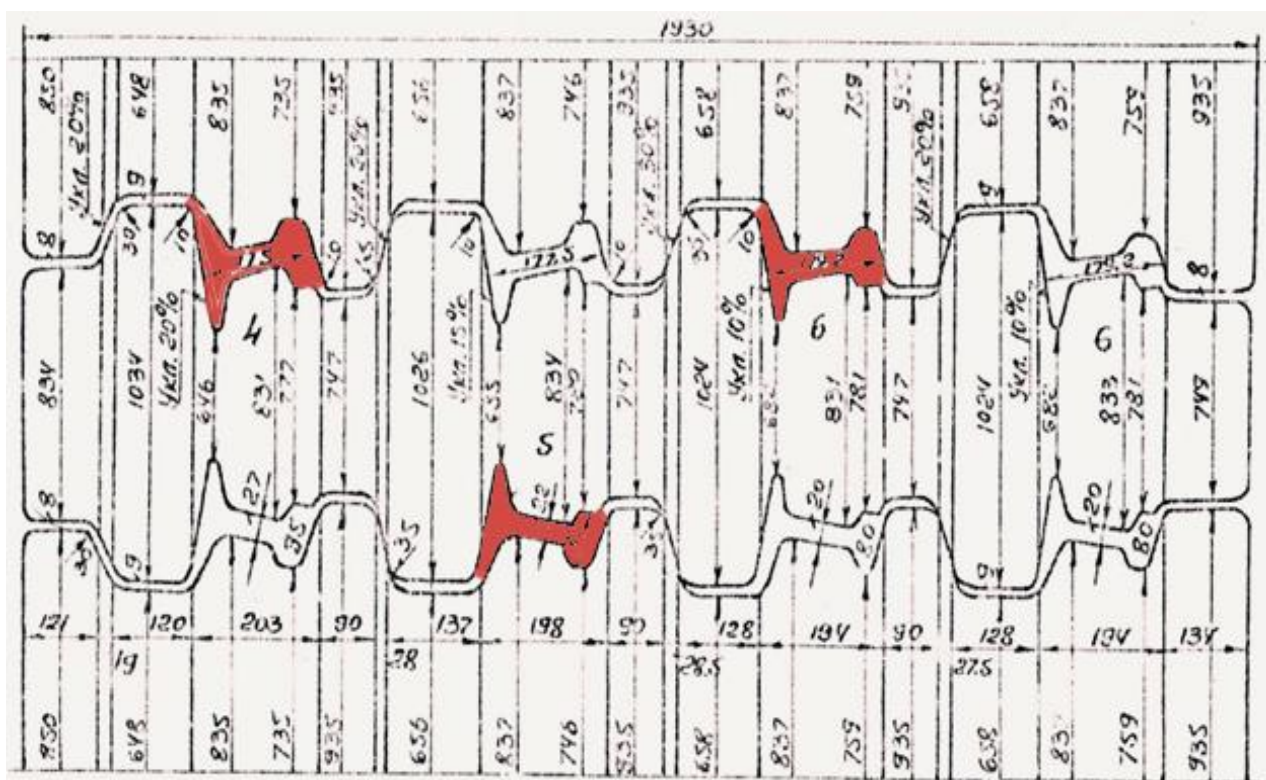


Рис. 4.15. Схема калибровки валков второй клетки трио чистой линии

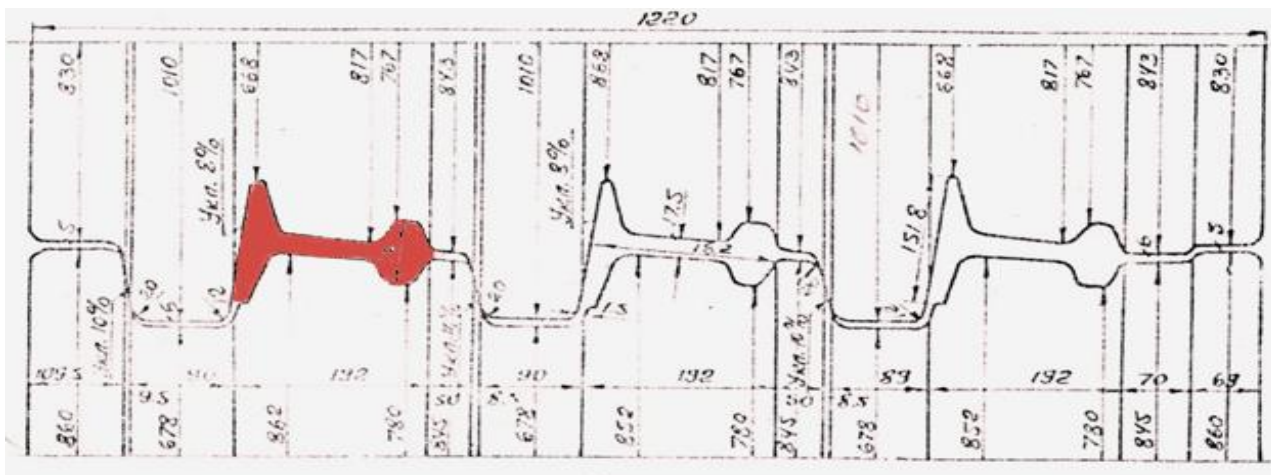


Рис. 4.16. Схема калибровки валков чистой клетки дуо 800 чистой линии

### 4.1.3. Система технологической финишной обработки проката

#### Требования к качеству рельсов

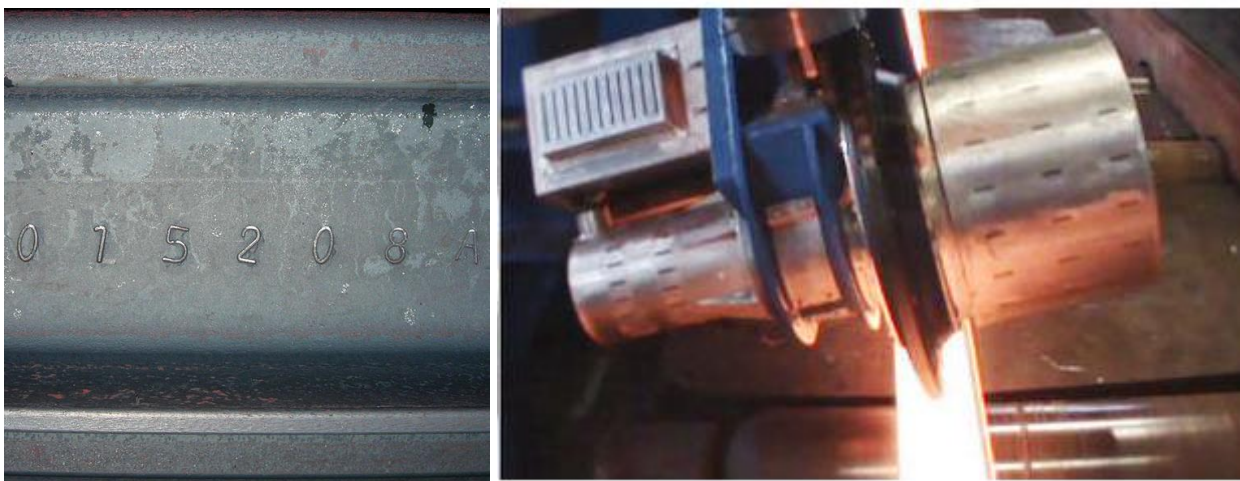
При производстве рельсов высокие требования предъявляются к качеству готовой продукции. Показатели качества условно можно сгруппировать в две категории. В первую категорию входят требования по геометрии проката и состоянию его поверхности, а во вторую – механические характеристики металла профиля.

На поверхности боковых граней головки и на кромках подошвы рельса не допускаются никакие забоины, риски и прочие дефекты. По всей поверхности должны отсутствовать пленки, рванины, трещины и закаты. Допускаются отдельные волосовины и морщины глубиной не более 1,0 мм на длине не более 1 м. Дефекты должны быть удалены пологой зачисткой на глубину до 1 мм.

Железнодорожные рельсы после прокатки разрезаются пилами на длину 12,5 м или, чаще, – 25 м. На этой длине не допускаются волнистость и кривизна, превышающая  $1/2$  200 длины рельса, практически полностью исключаются концевые искривления. Большое внимание уделяется качеству торца рельса: поверхность его должна быть отфрезерована строго под прямым углом к оси. С точки зрения формирования механических характеристик металла профиля, главенствующая роль принадлежит операциям термической обработки проката.

#### Финишная отделка рельсов

После выхода из рабочей двухвалковой клетки 800 полосу рольгангами подают к пилам горячей резки металла для разрезки ее на мерные длины (25 м). Во время реза рельс закрепляют зажимами и при этом наносят на рельсы их порядковый номер в слитке. Затем разрезанные на мерные длины рельсы проходят через штемпельную машину (рис. 4.17), которая наносит на них номер плавки, и поступают в гибочную машину для изгиба их на подошву (рис. 4.18). Этот изгиб рельсов предназначен компенсировать последующее искривление рельсов в сторону головки в процессе охлаждения рельса на холодильнике.



а)



б)

Рис. 4.17. Внешний вид штампера на поверхности рельса (а, слева), штампельного диска (а, справа) и процесс прохода рельса через штампельную машину (б)

Искривление рельсов в процессе охлаждения на холодильнике (см. рис. 4.18б) объясняется различием температур головки и подошвы в конце прокатки: температура головки рельса по окончании прокатки на 50–70 °С выше температуры подошвы, так как подошва имеет значительно большую поверхность охлаждения. Предварительный изгиб рельсов в горячем состоянии позволяет получить после охлаждения прямые рельсы и при окончательной правке в холодном состоянии уменьшить величину внутренних напряжений в металле, снижающих качество рельсов [4].

На холодильнике рельсы охлаждаются до температуры не ниже 500 °С, а затем загружаются рядами подошвой вниз в ямы замедленного охлаждения, где в штабелях медленно остывают до 100–150 °С. При этом выправляется кривизна рельсов и удаляются флокены из металла (флокены представляют собой внутренние микропоры – рис. 4.19).

На некоторых заводах антифлокенная обработка осуществляется в печах изотермической обработки. По этой технологии на холодильнике прокат охлаждается до 350–500 °С, затем при той же скорости движения шлепера (0,15 м/с) поступает в проходную печь, где в течение 2 ч выдерживается при температуре 600 °С. После печи рельсы вновь оказываются на холодильнике и остывают на нем до 100–150 °С и ниже [1].



а)



б)

Рис. 4.18. Внешний вид гибочной машины (а) и изгиб на подошву рельсового раската (б)

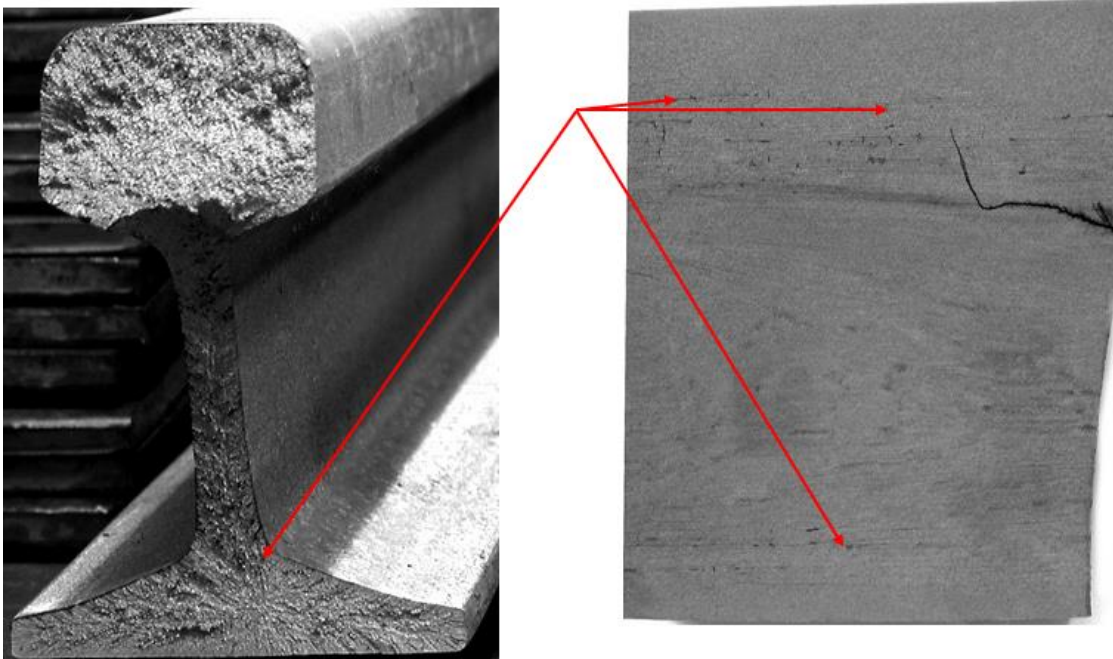


Рис. 4.19. Флокены в металле рельсового проката

После антифлокеной обработки рельсы поступают на отделку. Первая отделочная операция – правка, которая осуществляется в холодном состоянии головкой рельса вверх на роликотправильных машинах (рис. 4.20), способных подвергать рельс знакопеременному изгибу в двух плоскостях.

Окончательную правку, при необходимости, выполняют на штампельных или специальных правильных прессах (рис. 4.21).



Рис. 4.20. Правка рельсов в роликотправильной машине

Далее рельс поступает на отделочный стеллаж, по которому он перемещается в направлении, перпендикулярном своей длине (рис. 4.22 – 4.23).

Стеллаж оборудован с двух сторон фрезерными станками для фрезерования концов рельсов, специализированными станками для сверления на каждом конце трех овальных крепежных отверстий, проходными установками для нагрева ТВЧ



и струевыми аппаратами для поверхностной закалки концов рельсов (на длине ~ 0,5 м от торца). Износостойкость закаленных по концам рельсов в 2,5–3,0 раза выше, чем незакаленных по их длине частей. В продолжение отделочного стеллажа установлены инспекционные стеллажи для осмотра и приемки рельсов [1].

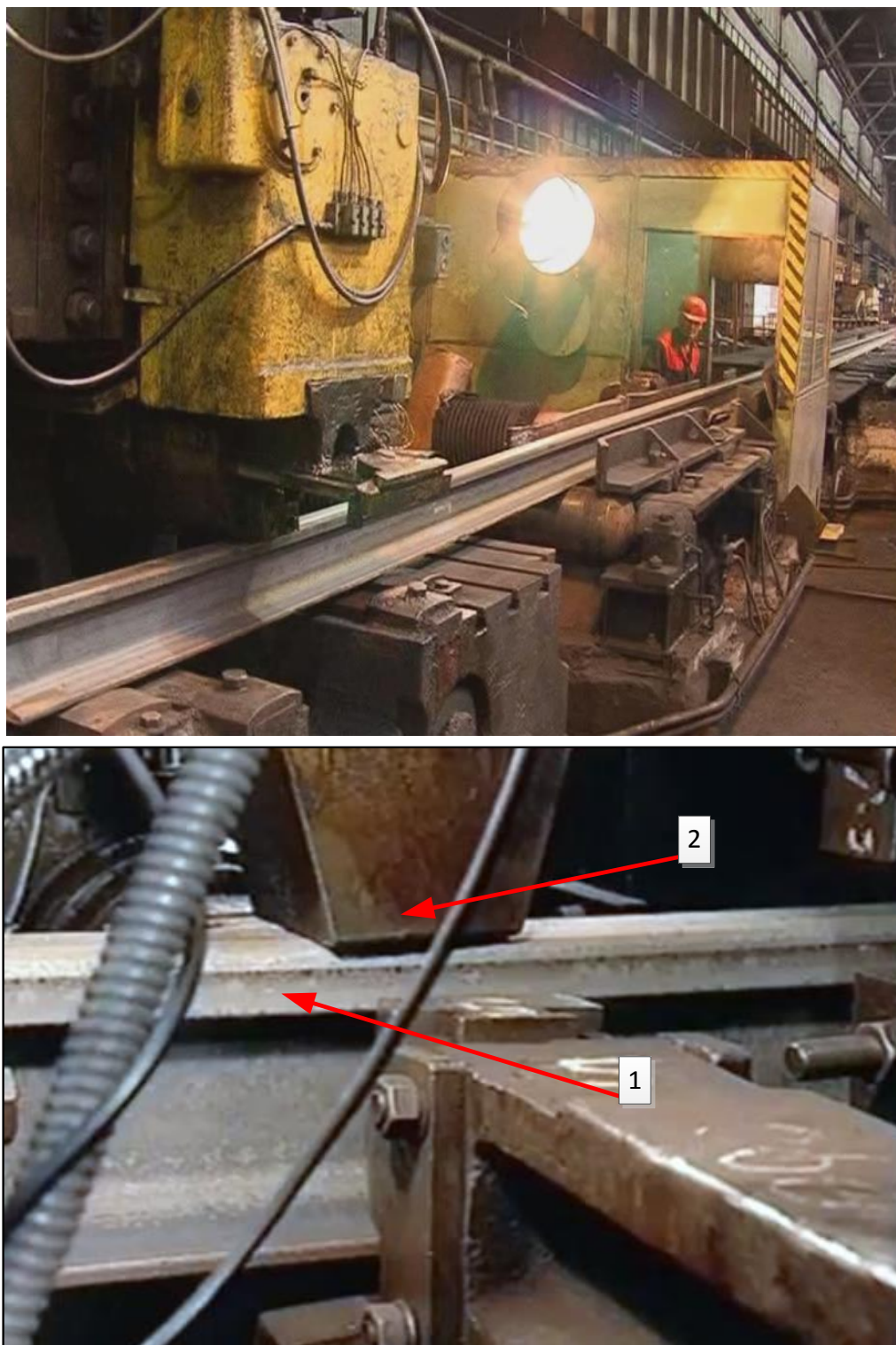


Рис. 4.21. Правка рельса на штемпельном прессе:  
1 - рельс; 2 - рабочий орган прессы-штемпель



Рис. 4.22. Осмотр и зачистка дефектов на поверхности рельсов



Рис. 4.23. Кантовка рельсов на отделочном стеллаже

Для поверхностной закалки головки рельса используют закалочный агрегат, включающий установку нагрева головки рельса токами высокой частоты. С использованием установки поверхностный слой головки, примерно за 10 с, разогревается до температур выше  $A_{с3}$ . Далее следует спрерная установка для быстрого охлаждения и закалки головки рельса. После такой термообработки рельс вновь подвергается правке, осмотру, а также испытаниям. Готовые рельсы выборочно подвергаются копровым испытаниям при температурах до  $-60$  °С. Испытываемые рельсы должны выдерживать ударную нагрузку на копре грузом массой 1 т с высоты не менее 3 м.

Для контроля флокенов в готовых рельсах используется ультразвуковой дефектоскоп УДМ-1М, который может работать как по зашлифованной, так и по черновой поверхностям металла. В последнее время участки отделки рельсов оснащаются также оборудованием для контроля макроструктуры стали непосредственно в ходе технологического процесса. Внешний вид торца рельса, готового к отправке, и транспортная его упаковка представлены на рис. 4.24.

Одна из существенных тенденций в производстве рельсов – улучшение качества исходного металла, поступающего в прокатку, путем его рафинирования (очистки). Применяются внепечное вакуумирование и обработка синтетическими шлаками жидкого металла, в результате чего в металле уменьшается количество оксидных включений примерно на 30 %, а количество сульфидных включений – в 1,5–2,0 раза. Рельсы, полученные из рафинированной стали, имеют более высокие механические свойства.

Одним из резервов повышения механических свойств рельсов считается использование легированных марок стали. Однако стоимость таких рельсов существенно возрастает [1].

#### *Финишная отделка двутавровых балок, швеллеров и угловой стали*

После выхода из рабочей двухвалковой клетки 800 прокатанные профили (двутавровые балки, швеллеры и угловую сталь) подают рольгангами к пилам для разрезки на мерные длины (до 24 м). В дальнейшем разрезанные профили проходят через штемпельную машину, наносящую на них номер плавки, и, минуя гибочную машину, поступают на холодильник для охлаждения. Для повышения качества охлаждения проката холодильник оборудован в начале и конце кантователями для кантовки профильного проката (см. рис. 4.23).

После охлаждения профили подают к роликотправочной машине, где за один пропуск их выправляют в одной плоскости, а далее подают к двум прессам для окончательной правки. Выправленный прокат транспортируют на стеллажи для разбраковки и последующей передачи годных полос на склад готовой продукции. Кроме того возможна передача годных полос к ножницам холодной резки профильного проката для разрезки на меньшие мерные длины, а после этого – на стеллажи для разбраковки.

Для вырезки бракованных участков в профильном прокате в отделочном отделении установлена пила холодной резки.



а) Внешний вид торца рельса готового к отправке (а)  
и транспортная упаковка (б)

## 4.2. Производство крупных сортовых профилей

### 4.2.1. Общая характеристика крупносортовых станов

В соответствии со сложившимися представлениями, к крупным сортовым профилям относятся те, масса одного погонного метра которых превышает 9 кг. Традиционно такие профили прокатывают на универсальных рельсобалочных и крупносортовых станах.

Универсальный балочный стан 1300 в СССР был построен всего один [4] – на ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (1977 г.). Что касается крупносортовых станов, то в России основными их типами являются крупносортовый ступенчатый трио 650 и крупносортовый полунепрерывный 600 (таблица 4.3), последний из которых имеет наибольшую производительность. В Украине по состоянию на начало 2014 г. действуют 6 крупносортовых станов (таблица 4.4), в том числе: крупносортовые станы группы 600 – 3 шт.; крупносортовые станы группы 500 – 3 шт.

Таблица 4.3

#### Основные характеристики базовых типов крупносортовых станов в России

Тип стана	Сортамент проката	Производительность, тыс. т/год	Общая мощность главных приводов, кВт	Масса оборудования, т
Крупносортовый ступенчатый трио 650	Круглая сталь диаметром 70–220 мм, балки от № 16 до № 30 и др.	750	8 700	6 500
Крупносортовый полунепрерывный 600	Круглая сталь диаметром 50–120 мм, балки от № 10 до № 20 и др.	1 600	34 400	18 000

В целом действующие в России и в Украине крупносортовые станы идентичны. В свете такого подхода показательными являются характеристики полунепрерывного крупносортового стана 550-2 ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского».

#### 4.2.2. Характеристика полунепрерывного крупносортового стана 550-2 ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского»

Полунепрерывный крупносортовый стан 550-2, введенный в эксплуатацию в 1987 г., предназначен для производства профилей ободов колес автомобилей, периодических профилей и других сложных фасонных профилей для авто- и сельхозмашиностроения в объеме 700 тыс. т/год [13]. На стане прокатывают стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-71: Ст3кп, Ст3сп; ГОСТ 8531-78: Л53) и качественные (ГОСТ 1050-74: 15кп, 20, 20пс, 45; ГОСТ 4543-71: 30Х, 35Х).

Схема расположения основного технологического оборудования приведена на рис. 4.25.

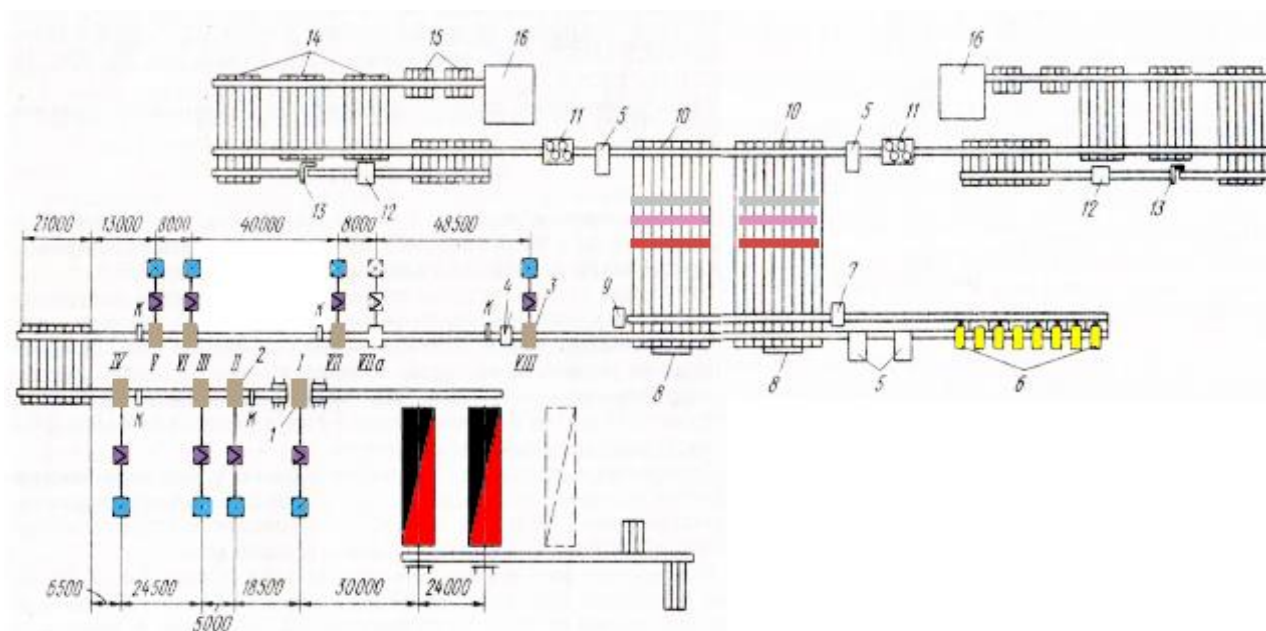


Рис. 4.25. Схема расположения основного технологического оборудования крупносортового стана 550-2 ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского»:

- 1 - обжимная клеть двухвалковая реверсивная 670 (I); 2 - горизонтальные двухвалковые реверсивные клетки 630 (II-VII); 3 - клеть № 8 периодической прокатки;
- 4 - задающе-следящие ролики; 5 - машины для обрезки «уса» с периодического профиля;
- 6 - передвижные пилы горячей резки; 7 - клеймитель; 8 - переключивающее устройство;
- 9 - пила горячей резки для отбора проб; 10 - холодильники; 11 - ролико-правильная машина; 12 - пресс усилием правки 25 МН; 13 - ножницы холодной резки усилием 5 МН;
- 14 - стеллажи осмотра с кантователями; 15 - сортоукладчики периодического проката;
- 16 - сортоукладчики обычного проката; 17 - пила холодной резки участка доотделки

**Технологические возможности и технические характеристики действующих  
крупносортных станов на металлургических предприятиях Украины (на начало 2014 года)**

Стан	Предприятие	Год постройки	Тип стана	Сечение заготовки, мм	Основной сортамент готовой продукции	Максимальная длина проката, м	Кол-во клетей, шт
620	ПАО «Краматорский металлургический завод им. В.В. Куйбышева»	1909	линейный	160x160–240x240	Сталь угловая равнополочная 100x100–125x125 мм с толщиной полки 8–14 мм; сталь угловая неравнополочная 125x80–160x100 мм с толщиной полки 8–14 мм; полосульб 180x56,5x8,5–220x68x10; шахтные спецпрофили	13	3
550	ПАО «Енакиевский металлургический завод»	1913	комбинированный	150x150–100x230	Сталь угловая равнополочная 90x90...100x100 160x100 мм с толщиной полки 7–12 мм; швеллер №10–12; двутавровая балка №12; полосульб, рельсы Р18, специальные профили	9	5
550	ПАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье)	1952	линейный	115x115–185x185	Сталь квадратная со стороной 45...100 мм; сталь круглая Ø45–125 мм, спецпрофили 129x65x25 для тормозных шин	6	4
800/ 650	ПАО «Металлургический комбинат Азовсталь» (г. Мариуполь)	1953	линейный	210x245–245x320	Заготовка квадратная со стороной 75–100 мм; двутавровая балка и швеллер № 16–18; рельсы Р24; профили для крепи горных выработок СВП № 19–33; сталь угловая равнополочная 140x140–200x200 мм, сталь полосовая НР-50–65	12	4
600	ПАО «Алчевский металлургический комбинат»	1966	полунепрерывный	300x300–310x310	Сталь круглая Ø50–140 мм; сталь квадратная со стороной 50–100 мм; двутавровая балка №10–20А; швеллер №10–20А; рельсы Р15–Р24; профили для крепи горных выработок СВП № 17–27; сталь угловая равнополочная 80x80–160x160, сталь полосовая 14–60x100–200 мм	12	15
550-2	ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» (г. Днепропетровск)	1987	полунепрерывный	140x140–340x100	Сталь угловая равнополочная 70x70–100x100; швеллер № 8–30; профили для ободов колес автомобилей, лемехов	30	8

Сечения исходных заготовок: 140×140 мм, 145×145 мм, 170×170 мм, 200×200 мм, 230–350×90–120 мм и 340×100 мм. Заготовки поставляются с рельсобалочного стана 800 длиной 2,3–5,3 м. Минимальная длина заготовки 2,28 м.

Нагрев заготовок осуществляют в двух методических печах с шагающими балками, отапливаемыми природным газом. В печи заготовки нагревают в зависимости от марки стали до 1 200–1 250 °С и поштучно выдают на приемный рольганг стана шагающими балками печи. Загрузка и выдача – торцевая. На стане предусмотрено место для строительства третьей печи. Размеры печи: длина – 36 м (по осям рольгангов); ширина (в свету) – 7,192 м; длина полезного пода – 29,91 м, ширина – 6,32 м, площадь – 183 м<sup>2</sup>; производительность ≤ 100 т/ч. Минимальный цикл выдачи заготовки при однорядной загрузке 32 с.

Стан состоит из восьми двухвалковых рабочих клетей, расположенных последовательно в две линии (по четыре). Клеть № 1 – обжимная реверсивная с максимальным раствором валков 1000 мм. Нажимное устройство – винтовое с приводом от 75 кВт электродвигателя (500 об/мин). Уравновешивание верхнего вала – гидравлическое: давление в системе 9,2–10,0 МПа. Клеть может работать в режиме как с технологическим подъемом вала, так и без него. Перед клетью и за ней установлены рабочие раскатные рольганги, ролики которых имеют индивидуальный привод. При этом в рабочие рольганги как перед, так и за клетью встроены кантователи-манипуляторы клещевого типа.

Клетки № 2–8 – нереверсивные с предварительно напряженными станинами и возможностью предварительной выборки люфтов в подшипниках, воспринимающих осевые усилия прокатки. На клетях № 2 и № 8 смонтированы кантовующие валки на выходе из клетки. Клетки № 4–8 – взаимозаменяемые. Для получения более качественной поверхности проката к клетям № 5–8 подведена технологическая смазка, которая подается в зев калибра во время прокатки. Раскат с одной линии на другую передают цепным шлеппером. Характеристика клетей представлена в таблице 4.5.

Клетки № 2 и № 3, № 5 и № 6 попарно образуют две непрерывные группы. У клетки № 7 предусмотрено место для установки клетки № 7а (они вместе образуют третью непрерывную группу). Привод нажимных устройств клетей № 2–7 – электрический, индивидуальный. Предварительное напряжение станин этих клетей создается гидроцилиндрами. Усилие предварительного напряжения станины 6 МН.

Прокатку в клетях ведут по принципу «клеть-проход» за исключением периодических профилей и некоторых автоободов, прокатку которых в клетки № 1 осуществляют за три-пять проходов.

Перед клетями № 2, № 4–8 установлены шайбовые кантователи с приводом от гидроцилиндра для кантовки раската на 45° и 90°. Давление в гидроцилиндрах 9–10 МПа. При прокатке профиля без кантовки кантователи сдвигают с линии прокатки. Валки клетей стана приводятся во вращение через шестеренные клетки.

Таблица 4.5

## Характеристика клеток крупносортового стана 550-2

Параметр	№ 1 (обжимная)	№ 2-7	№ 8 (периодической прокатки)
Диаметр валков, мм: – максимальный – номинальный – минимальный	850 670 620	750 630 590	400-800
Длина бочки валка, мм	1900	800	800
Частота вращения валка, об/мин	0-155	55-210	30-140
Подшипники, тип	Роликовые	Жидкостного трения	Жидкостного трения
Масса валка, т	11,5	5,0	5,0
Материал валков	Сталь 60ХН	Чугун СШХН-45	Чугун СШХН-45
Масса клетки, т	189,3	76,7	69,7
Максимальный момент прокатки, кН·м	300	360	400
Максимальное усилие прокатки, кН	3000	3650	3500
Рабочий ход нажимных винтов, мм	350	87	120-210
Скорость перемещения валков, мм/с	5-50	0,09; 0,18	0,2-1,2
Скорость прокатки, м/с	≤ 4,0	≤ 7,0	≤ 2,0
Принцип перевалки валков клетки	Комплектом валков	Клетями	Клетями
Электродвигатели	П22/52-2,5МУ4	П22/52-2,5МУ4	П2-21/90-ЧУ4
Мощность электродвигателя, МВт	2,5	2,5	4,0
Частота вращения, об/мин	0 - 110 - 220	0 - 110 - 220	0 - 100 - 200

Для улучшения качества готового проката перед клетями № 1 и № 8 предусмотрены установки для гидросбива окалины (давление воды 12,5 МПа).

Валковая арматура клеток № 1-3 – типовая, а на клетях № 4-8 установлены проводковые столы, которыми проводковые коробки прижимаются к брусу и перемещаются из калибра в калибр. Привод стола гидравлический (давление 9-10 МПа), а управление – ручное (с пульта у клетки). При настройке привалковой арматуры столы сдвигают в поперечном направлении.

Периодические профили прокатывают с установкой клетки периодической прокатки на место чистовой клетки № 8. Клеть для периодической прокатки имеет двукратное переуравновешивание верхнего валка для выборки люфтов.



Шестеренная клеть в линии клетки периодической прокатки выполнена с максимальной унификацией с шестеренными клетями № 1–8. При этом предусмотрена возможность производить относительную угловую настройку валков клетки периодической прокатки.

После прокатки в чистовой клетке № 8 или в клетке периодической прокатки раскат транспортным рольгангом со скоростью 1,7–8 м/с передают к пилам горячей резки (рис. 4.26).

На линии транспортного рольганга установлена машина для обжима и обрезки «усов» в горячем состоянии у периодических профилей.

На участке порезки установлены восемь передвижных пил горячей резки с диаметром диска 1 800 мм и толщиной – 9 мм. Линейная скорость вращения диска 94,2 м/с. Пилы устанавливают на требуемую длину порезки 4–30 м в соответствии со стандартами и техническими условиями на данный вид проката. При этом нормальная длина порезанных штанг  $\leq 12$  м.

С подводящего рольганга прокат перекладчиком подают на стеллаж резки, где его режут на требуемое число штанг и обрезают передние концы. Порезанные штанги перекладчиком подают на отводящий рольганг и транспортируют к холодильникам, где с первой (по ходу металла) штанги стационарной плитой горячей резки отрезают задний конец – пробу. Периодические профили разрезают по меткам с постоянной коррекцией установки пил.



Рис. 4.26. Порезка раската на пилах горячей резки

Порезанный прокат передают на два одинаковых цепных холодильника № 1 (правый) и № 2 (левый), состоящих из двух последовательных цепных транспортеров. На каждый холодильник укладывают по четыре штанги (длиной 4–7,5 м) в ряду или по две (длиной 7,5–12 м). Скорость перемещения охлаждаемого проката (4–31 мм/с) позволяет охладить его до 50–100 °С (рис. 4.27).

Охлажденный прокат с холодильников передают канатными шлеперами с подъемными дорожками на отводящий рольганг, по которому транспортируют

со скоростью 1,5–5 м/с на правый и левый участки правки и холодной резки, стеллажи осмотра (назначение и состав оборудования аналогичны).

Весь неперiodический прокат правят на восьмироликовой правильной машине, которую вдвигают в линию рольганга.



Рис. 4.27. Вид цепных холодильников

При транспортировке периодического проката с холодильника в линию рольганга вводится машина для обрезки заусенцев толщиной 8–10 мм и шириной 85 мм в холодном состоянии с  $\sigma_b$  проката не более 620 МПа. В то же время сортоправильную машину сдвигают и в линию рольганга вводят дополнительную секцию рольганга. После обрезки заусенцев периодический прокат проходит через измеритель кривизны, установленный на рольганге за правильной машиной. Годные штанги направляют на участок стеллажей осмотра. Кривые штанги передают к правильной гидравлическому одностоечному 2,5-МН прессу со съемным столом, где их доправляют и передают на стеллажи осмотра. Ножницы холодной резки установлены на одной линии с правильным прессом.

Со стеллажа осмотра прокат поступает в карман, где его укладывают в пакеты, обвязывают проволокой и взвешивают. Наибольшая масса пакета в сортоукладчике не более 10 т при длине 4–12 м.

По окончании набора пакета сортоукладчик по команде оператора отводится с линии рольганга, прокат обвязывают и взвешивают, а на линию вводится второй сортоукладчик. Пачки обвязывают головками, установленными на сортоукладчике, а взвешивают на весах, встроенных в сортоукладчике. Обвязанный и взвешенный прокат убирают электромостовым краном на склад готовой продукции. Кроме ручного управления предусмотрен автоматический режим набора, обвязки и взвешивания пакетов.

Прокат, подлежащий доотделке, в пачке весом  $\leq 10$  т подают краном на загрузочное устройство отдельно расположенного участка доотделки. На этом участке прокат доправляют, вырезают отдельные бракованные участки в периодическом прокате, ремонтируют дефектные места [13].

### 4.2.3. Сортамент, прокатка и калибровка двутавровых балок

Двутавровая балка (рис. 4.28) является одним из основных строительных профилей. Номера балок № 10–60 по ГОСТ 8239-89 соответствует их высоте  $h$  в сантиметрах: балка № 20 имеет высоту 200 мм. Наименьшая балка имеет размеры  $h = 100$  мм,  $b = 55$  мм,  $s = 4,5$  мм,  $t = 7,2$  мм, а самая крупная № 60 –  $h = 600$  мм,  $b = 190$  мм,  $s = 12,0$  мм,  $t = 17,8$  мм. Радиусы и уклоны (6–12 %) согласно ГОСТ 8239-89 указываются для построения калибровки, а на готовом профиле не контролируются. Отклонения по основным размерам определяются номером балки и группой точности профиля [1].

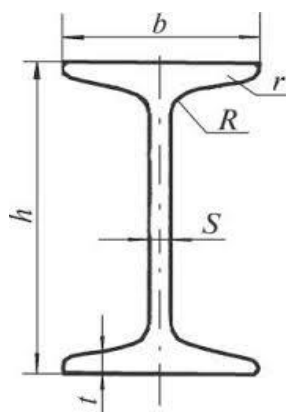


Рис. 4.28. Профиль двутавровой балки по ГОСТ 8239-89

Для мелких балок (до № 14 включительно) допуски по высоте  $h$  и по ширине при обычной и повышенной точности составляют  $\pm 2,0$  мм, по толщине стенки  $s$  и средней толщине полки  $t$  допуск при обычной точности составляет – 0,7 мм, а при повышенной точности – 0,4 мм. Для крупных балок допуски на ширину и толщину при повышенной точности сохранены, а при обычной точности они повышены: по  $h$  до  $\pm 2,5$  мм и по  $b$  до  $\pm 3,0$  мм. Крупные балки по толщинам имеют допуск – 1,2 мм при обычной и – 1,0 мм при повышенной точности.

Оговариваются в ГОСТ 8239-89 также кривизна профиля (не более 0,2 % длины), притупление углов (до 2,2 мм) и отклонение по массе (+3... –0,5 %). Длина выпускаемых профилей от 4 до 12.

Основное предназначение двутавровой балки – работа на изгиб. Поэтому её важнейшей характеристикой является момент сопротивления изгибным нагрузкам и форма балки выбрана по максимальному значению момента сопротивления при минимальной площади поперечного сечения. Оптимальная форма двутавровой балки достигается при равном распределении металла между стенкой и полками. С ростом отношения высоты балки к толщине стенки  $h/d$  экономичность профиля возрастает.

Предусмотрены в ГОСТ 8239-89 также облегченные балки, имеющие меньшую толщину элементов, маркируемые буквой Л (например, № 20Л). С увеличением ширины полки  $b$  момент сопротивления балки растет и поэтому предусмотрены широкополочные балки с маркировкой Ш (например, № 20Ш). Растет потребность в облегченных балках, не имеющих уклонов по полкам. Однако с ростом отношений

$h/d$  и  $b/t$  и снижением уклонов резко возрастают трудности прокатки на существующем прокатном оборудовании.

Параметры отечественных балок находятся на уровне зарубежных или превышают их. ГОСТ 8239-89 регламентирует жесткий минусовый допуск по толщине полок ( $-6\%$ ), задает ограничение по массе в пределах от  $+3$  до  $-5\%$ , определяет требования по состоянию поверхности балок и пр.

Значительное количество двутавровых балок и других видов проката, входящих в группу фланцевых профилей, производится на линейных рельсобалочных и крупносортовых станах. Более прогрессивным следует считать производство балок и других фланцевых изделий на станах полунепрерывного или последовательного типов [1]. Рассмотрим технологию прокатки и калибровку валков на стане линейного типа (стан 650 ПАО «МК «Азовсталь»»).

Слиток после прокатки на блюминге 1200 поступает в реверсивную клеть 800 (малый блюминг) и после нескольких пропусков направляется в подготовительные клетки трио 650 с общим приводом. Последний чистовой пропуск производится в клетки дуо 650 с отдельным приводом. Для прокатки балок №№ 10–20 применяют схему калибровки валков, приведенную на рис. 4.29.

В обжимной клетке (1) делается пять проходов. В первом калибре (прямоугольного типа), исходная квадратная заготовка обжимается в прямоугольное сечение. Перед задачей во второй калибр (прямоугольного типа) заготовка кантуется на  $90^\circ$ , и прокатывается в прямоугольное сечение, ширина которого должна быть не меньше удвоенной высоты полок конечного профиля. Далее следует разрезной калибр (3-й проход), перед которым раскат кантуется на  $90^\circ$ . Назначение разрезного калибра – обжать прямоугольную заготовку в середине сечения по ширине и подготовить ее для последующего формирования стенки и полок профиля. Далее следует два закрытых калибра IV и V, заканчивающих перераспределение металла для формирования полок и стенки в последующей чистовой линии клетей.

В закрытых калибрах достигается большая точность и нет опасности образования заусенца по разьему калибра. Однако они имеют большой врез в валок и, тем самым, ослабляют его конструктивную прочность. Следствием этого является то обстоятельство, что в них применяются меньшие обжатия.

В подготовительных клетях трио (черновой и предчистовой) и чистовой клетки дуо (рис. 4.29) нарезаны так называемые балочные калибры. Средний валок имеет отдельный врез для верхнего и нижнего калибров. Обычно, предчистовые и чистовые калибры нарезаются в удвоенном количестве, с целью продлить кампанию работы валков при износе калибров.

По подобной схеме ведется прокатка балок на последовательных станах, в составе которых отсутствуют чистовые универсальные клетки, конструкция которых позволяет устанавливать горизонтальные валки с различной длиной бочки (в зависимости от размеров прокатываемого профиля) и прокатываемой балки с параллельными полками.

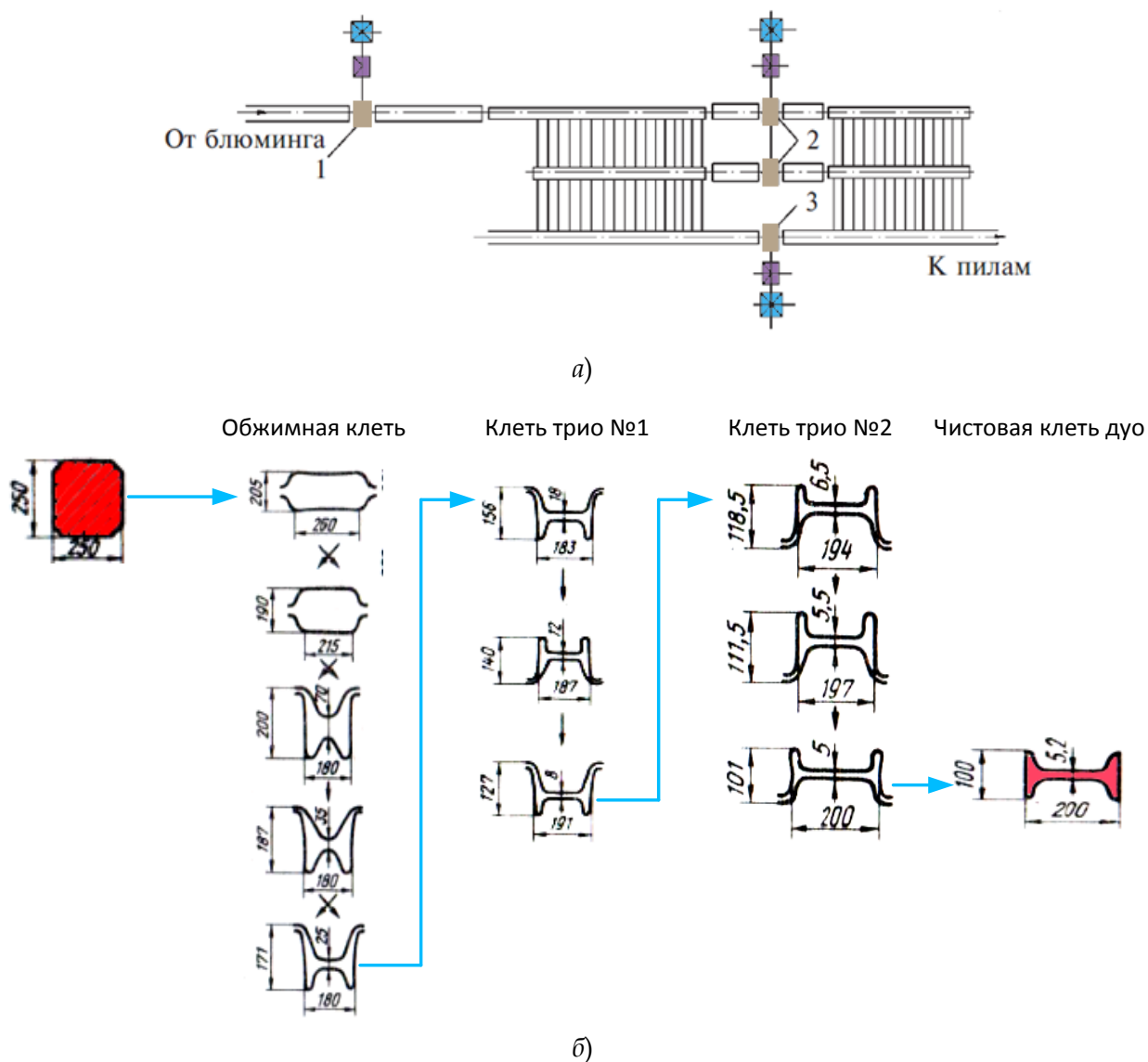


Рис. 4.29. Схема расположения клеток линейного крупносортового стана (а) и применяемых калибров по клетям (б):

1 - обжимная реверсивная клет; 2 - черновые клетки 650-трио № 1 и № 2 с общим приводом; 3 - чистовая нереверсивная клет 650 дуо

В балочных закрытых калибрах боковые и внутренние грани полки имеют выпуск от 1–2 % в чистовом до 5–8 % в первом балочном калибре (наклон к вертикали под углом от 0,5 до 3–5°). Эти уклоны необходимы для устранения окова валков при прокатке и для возможности переточки валков при износе. По такой калибровке невозможно прокатать балку без уклонов и не могут быть получены параллельные полки профиля. Их выправляют и делают параллельными на правильной машине после охлаждения профиля.

Малые выпуски не обеспечивают интенсивную деформацию металла по полкам, так как они формируются только за счет бокового обжатия. При прокатке широкополочных и тонкостенных профилей это существенное ограничение. Чтобы прокатывать такие балки, необходимо увеличить выпуск по стенкам до 10–12 % и за счет этого увеличить обжатие по полкам. При этом стенку профиля изгибают (рис. 4.30).

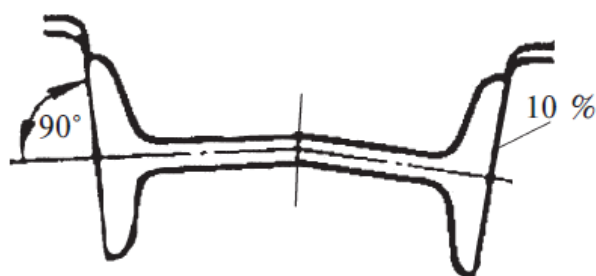


Рис. 4.30. Балочный профиль с изогнутой стенкой

В этом случае появляется возможность выполнить угол  $90^\circ$  между полкой и стенкой, и на правильной машине правке будет подвергаться только стенка. Еще более интенсивная деформация полков достигается при наклонном расположении калибров в валках (рис. 4.31).

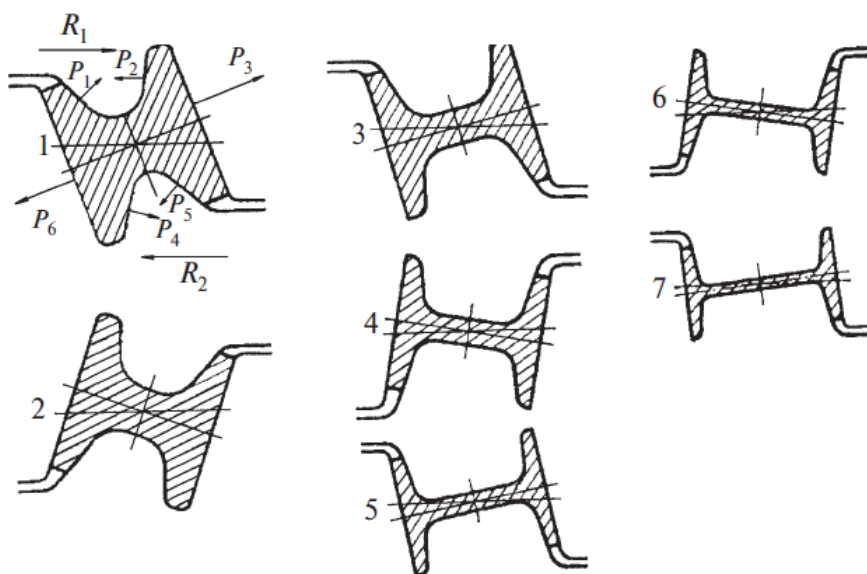


Рис. 4.31. Схема прокатки балок в наклонных калибрах

При этом можно сократить число балочных калибров, увеличить температуру прокатки металла в последних пропусках, а также прокатать балку с уменьшенными уклонами. Однако силы  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_6$  (показаны на первом калибре) не уравновешены, и их равнодействующая  $R_1$  по верхнему валку сдвигает валок при прокатке вправо. Аналогично равнодействующая  $R_2$  сил  $P_4$ ,  $P_5$ ,  $P_6$  сдвигает нижний валок влево. Необходимо применять замки, но и в этом случае из-за износа замков толщина полков в процессе прокатки постепенно изменяется. Прокатка в наклонных калибрах применяется редко [15].

#### 4.2.4. Сортамент, прокатка и калибровка швеллеров

Швеллер представляет корытообразный профиль (рис. 4.32), состоящий из стенки (шейки) и двух полков (фланцев). Высота швеллера, выраженная в сантиметрах, является основной характеристикой профиля и определяет его номер.

По ГОСТ 8240-89 выпускаются швеллеры высотой  $H = 50-600$  мм (№ 5-60), шириной полки  $B$  от 32 до 190 мм, толщиной полки  $t$  от 7,0 до 17,8 мм и толщиной стенки  $d$  от 4,5 до 12 мм. Обыкновенные швеллеры серии У и специальные серии С (отличающиеся от первых большими толщинами полки и стенки) выпускаются с уклонами по внутренним граням полки [1].

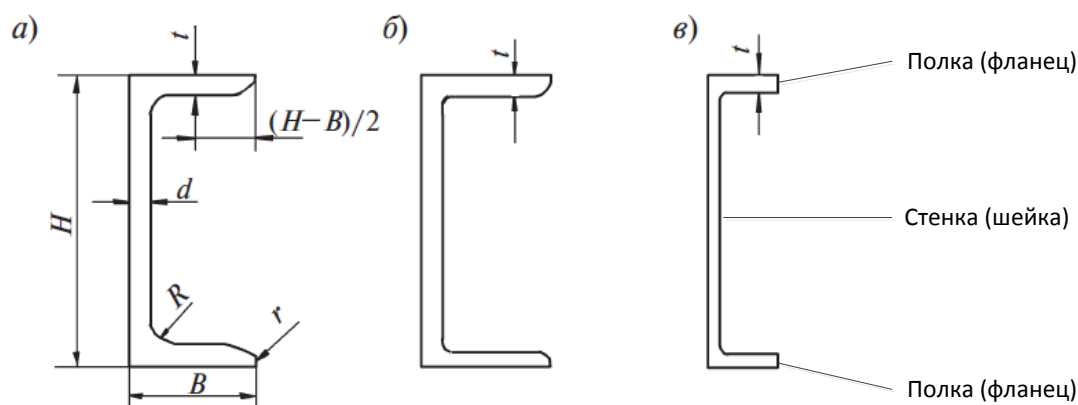


Рис. 4.32. Типы прокатываемых профилей по ГОСТ 8240-89:  
 а - обыкновенные серии У и С; б - с параллельными гранями полок серии П;  
 в - экономичные с параллельными гранями полок Э и Л

Швеллеры серии П (параллельные), Э (экономичные) и Л (легкие) имеют параллельные грани полок. Швеллеры серии Э в отличие от серии П имеют более тонкую стенку  $d$  (от 4,4 до 8,0 мм), швеллеры легкой серии Л - более тонкую стенку и полки, а также укороченные размеры полки. Для товарной продукции обозначают тип и размеры швеллера, например № 20У, 14Л или 14С.

ГОСТ 8240-89 регламентирует перекосяк полок на длине 1 м, прогиб стенки (до 0,5-1,5 мм), общую кривизну и т.д. Длина выпускаемого проката - в пределах 2-12 м. Швеллеры изготовляют в основном из углеродистой стали обыкновенного качества и низколегированных сталей.

Швеллер производится на тех же станах, что и двутавровая балка, т.е. на последовательных, линейных и универсальных специализированных.

В конструктивном плане швеллер напоминает балку без двух фланцев с одной стороны стенки. Поэтому течение металла при прокатке швеллеров подчиняется в основном тем же закономерностям, что и при прокатке двутавровых балок. Однако отсутствие фланцев с одной стороны стенки и необходимость получения острых наружных углов профиля, а также большая высота фланцев по сравнению с балкой соответствующего номера обуславливают ряд существенных особенностей прокатки швеллеров.

В свете вышеизложенного, основные виды калибров, применяемые при прокатке швеллеров, приведены на рис. 4.33 [8].

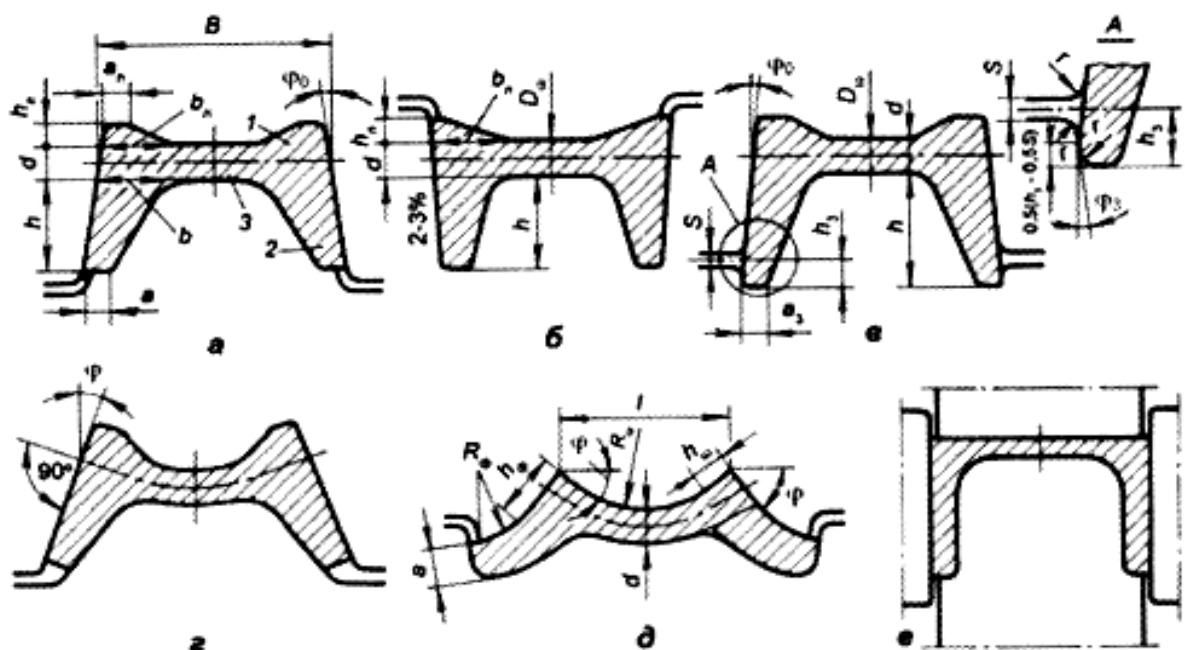


Рис. 4.33. Виды калибров, применяемых в прокате швеллеров:  
*a* – швеллерный с прямой полкой и шейкой (1 – закрытый ручей; 2 – открытый ручей; 3 – шейка); *б* – контрольный закрытый; *в* – контрольный полузакрытый; *г* – швеллерный с прямой полкой и изогнутой шейкой; *д* – развернутый швеллерный; *е* – универсальный чистовой

Швеллерные калибры, в отличие от балочных, имеют разъемы только с одной стороны, поэтому закрытый фланец по ходу прокатки должен постепенно сокращаться. Наличие его, с одной стороны, требует дополнительного расхода энергии, связано с большой неравномерностью деформации по сечению и кажется бесполезным [1]. С другой стороны, для получения острых наружных углов швеллера и предотвращения охлаждения металла в этих углах при прокатке в черновых и предчистовых калибрах предусматривают ложные фланцы 1 (рис. 4.33), которые располагают над действительными фланцами 2. В процессе прокатки металл из ложных фланцев перетекает в стенку и действительные фланцы, что способствует выполнению углов по наружной кромке стенки и получению тонких и широких действительных фланцев.

В первых черновых проходах ложные фланцы обычно имеют вид трапеции с размерами  $h_{л1}$ ,  $a_1$  и  $b_{л1}$ , а в предчистовых – вид треугольника с величиной  $a_1 = 0$  (рис. 4.33б). В чистовом калибре ложные фланцы отсутствуют или имеют незначительные размеры:

$$h_{л1} = 0,15 \div 0,30 \text{ мм}; \quad (4.1)$$

$$b_{л1} = (1,25 \div 1,50)b_0. \quad (4.2)$$

Поскольку высота ложных фланцев по ходу прокатки должна уменьшаться, то их всегда деформируют в закрытых фланцевых ручьях. Действительные же фланцы для интенсивного обжатия по толщине и наращивания по высоте всегда прокатывают в открытых фланцевых ручьях. Таким образом, в отличие от балок при прокатке



швеллеров чередование обработки закрытых и открытых фланцев не требуется. Поэтому все швеллерные калибры выполняют с постоянным положением разъема (обычно снизу калибра).

При деформации в открытых фланцевых ручьях высота действительных фланцев не контролируется и вследствие изменения условий прокатки (колебание температуры металла, износ калибров и т.п.) может несколько изменяться. Поэтому применяют специальные контрольные калибры, в которых полки профиля обжимают по высоте. По конструкции эти калибры могут быть двух типов: закрытого и полузакрытого. Преимуществом закрытого контрольного калибра (рис. 4.33б) является возможность получения более точных размеров фланцев. Однако такой калибр имеет целый ряд существенных недостатков:

- вход полосы в него затруднен, так как поступающий из предыдущего швеллерного калибра профиль имеет противоположный уклон фланцев;
- возможно заклинивание фланцев в ручье, поломка выводных проводок и оков валков раскатом;
- глубокий врез ручьев в валки ослабляет их прочность;
- в разъеме калибра возможно образование заусенцев, приводящих к получению закатов на готовом профиле (рис. 4.34);
- восстановление размеров калибра при переточках валков требует значительного уменьшения их диаметра из-за малых выпусков калибра (2-3 %), что сокращает срок службы валков.

В силу указанных недостатков закрытые контрольные калибры получили весьма ограниченное применение.

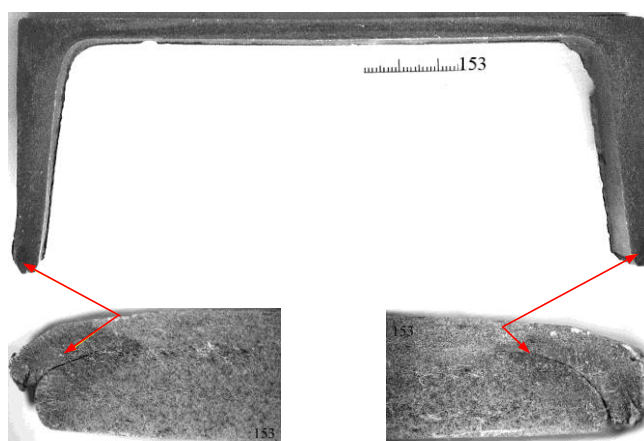


Рис. 4.34. Дефект «закат» на готовом профиле швеллера

Более распространенными являются полузакрытые контрольные калибры (рис. 4.33в). Эти калибры имеют такое же направление уклона наружных граней ручьев, что и в предшествующих швеллерных калибрах. Это создает благоприятные условия входа раската в контрольный калибр и позволяет увеличить уклон наружных

граней ручьев у смежных с ним швеллерных калибров, а следовательно, повысить интенсивность бокового обжатия фланцев.

Характер деформации в полузакрытых контрольных калибрах практически такой же, как и в открытых фланцевых ручьях, поскольку большая по высоте часть фланцев прокатывается между верхним и нижним валками. Благодаря этому возможно обжатие фланцев по толщине (только в открытой части калибра), уменьшается износ валков. Небольшая глубина вреза закрытого ручья (5–20 мм) и значительный выпуск (10–15 %) позволяют улучшить условия переточки и увеличить срок службы валков, а также повысить их прочность.

Построение полузакрытого калибра показано на (рис. 4.33*б*). Глубину закрытого ручья  $h_3$  принимают равной  $(0,2 \div 0,3) h$ , а ширину его по дну

$$a_3 = (1,04 \div 1,06)a', \quad (4.3)$$

где  $a'$  – толщина меньшего основания фланца поступающей в калибр полосы.

Выпуск ручья  $tg\varphi_3 = 10\text{--}15\%$ . Радиусы закругления назначают конструктивно [8].

Отмеченная выше общность профиля швеллера и двутавровой балки обусловила появление балочного способа прокатки швеллеров, который является наиболее старым и практически не используется. Основным его недостаток связан с тем, что деформация полок осуществляется боковым обжатием и протекает не интенсивно. Поэтому требуется большое количество калибров.

Развитие способов прокатки швеллеров шло по пути увеличения выпусков как в черновых, так и в чистовых калибрах. Это позволило получать повышенные боковые обжатия фланцев и легко восстанавливать размеры калибров при переточке валков с небольшим съемом металла по диаметру, т.е. увеличивать срок службы валков. Кроме того, с увеличением выпуска полок снижается расход энергии и износ валков при прокатке, а также повышается прочность валков благодаря меньшей глубине вреза ручьев в валки. Современные способы прокатки швеллеров [8] показаны схематично на рис. 4.35.

При прокатке по корытному способу (рис. 4.35*а*) применяют прямополочные швеллерные калибры с прямой шейкой и увеличенным выпуском до 10–15 %. У всех калибров, вплоть до предчистового, применяют указанные выпуски, а в чистовом – 1,5–2,0 %. При прокатке по этому способу угол между стенкой и наружной гранью фланца в черновых и предчистовых калибрах составляет более 90° и уменьшается только в чистовом проходе за счет сгибания отогнутых полок. При этом возникают трудности при входе раската в чистовой калибр, поскольку ширина его по отогнутым фланцам получается больше соответствующей ширины чистового калибра. Для устранения этого недостатка в предчистовых швеллерном и контрольном калибрах выпуск иногда уменьшают до 5–8 %. Таким образом, условия входа раската в чистовой калибр с малым выпуском ограничивают дальнейшее увеличение выпусков черновых калибров. Другим недостатком корытного способа прокатки швеллеров является то, что малый выпуск чистового калибра сокращает срок службы чистовых валков и делает практически невозможной прокатку швеллеров с параллельными гранями полок.

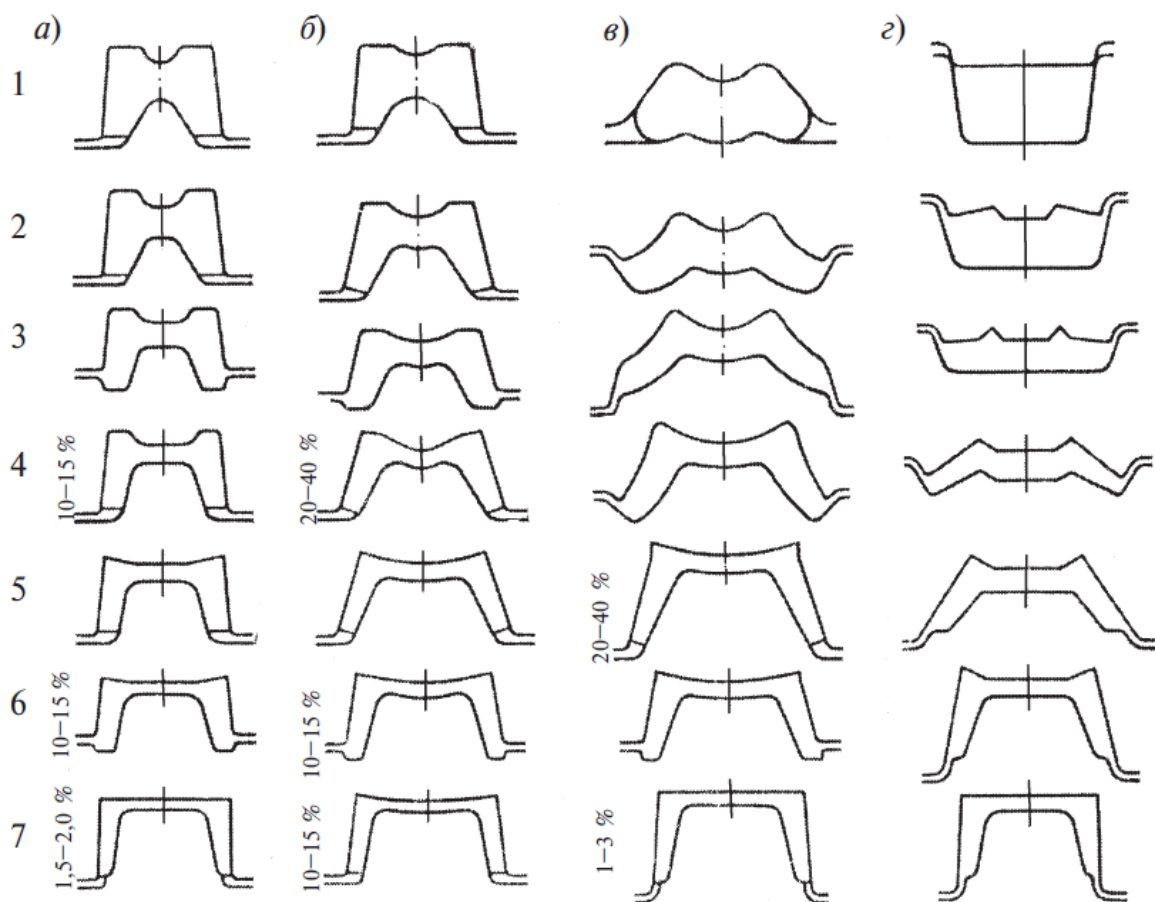


Рис. 4.35. Способы прокатки швеллеров:

*a* – с увеличенным уклоном полок и прямой стенкой (корытный способ); *б* – с увеличенным уклоном полок и изогнутой стенкой; *в* – с применением универсального чистового калибра; *г* – с развернутыми полками и изогнутой стенкой

Указанные недостатки корытного способа прокатки швеллеров устраняются благодаря применению калибров с прямыми полками и изогнутой стенкой (рис. 4.33 б и в). В таких калибрах выпуск увеличивают до 20–40 %, а угол между средней линией стенки и наружной гранью фланцев сохраняют равным  $90^\circ$ .

Способ прокатки швеллеров с увеличенным уклоном полок и изогнутой стенкой (рис. 4.35б) является в настоящее время наиболее распространенным как на линейных, так и на непрерывных станах. Это вызвано тем, что этот способ позволяет получать швеллеры как с уклоном внутренних граней, так и с параллельными гранями полок. При этом в черновых калибрах применяют выпуск до 40 %, а в предчистовом и чистовом калибрах – 10–15 %. Для получения окончательной формы швеллера прокатанный чистовой профиль с изогнутой стенкой правят на роликоправильной машине или на специальном доправочном устройстве. Готовый швеллер получают непосредственно на стане, применяя горячую гибку чистового профиля в универсальном швеллерном калибре (рис. 4.35в). При этом все чистовые размеры швеллера получают в предыдущем калибре с изогнутой стенкой и выпуском 25–30 %.

Известен также способ прокатки швеллеров с использованием универсальной клетки для деформации профиля в чистовом проходе при такой же схеме калибровки,

которая показана на рис. 4.35*б*. Однако при этом трудно обеспечить стабильное выполнение наружных углов швеллера, так как в универсальном швеллерном калибре указанные углы не обрабатываются и находятся в разделе калибра (см. рис. 4.33*е*), что требует специальной подготовки профиля в предыдущих калибрах. В зарубежной практике на современных полунепрерывных станах универсальные клетки применяют перед прокаткой в предчистовом контрольном и чистовом швеллерном калибрах.

Развернутая калибровка швеллеров (рис. 4.35*г*) включает ряд кривополючных черновых калибров, а также предчистовой контрольный и чистовой калибры с прямыми полками (число прямополючных калибров в зависимости от номера швеллера от 2 до 4-х). Этот способ прокатки швеллеров является дальнейшим развитием способа прокатки в калибрах с увеличенным выпуском и может быть применен как на линейных, так и на непрерывных станах.

У развернутых калибров выпуск прямолинейной части фланца (см. рис. 4.35*д*) составляет 55–100 %, а остальная часть полки выполняется радиусом  $R_{\phi}$ . Стенку калибра при прокатке швеллеров малых и средних размеров также выполняют криволинейной, а при прокатке крупных швеллеров средний участок ее делают прямолинейным. Первые по ходу прокатки развернутые калибры по форме близки к полосовым, в последующих калибрах производится постепенное сгибание криволинейных фланцев. Прямополючные предчистовые калибры имеют выпуск 20–40 %, а чистовой калибр – 1–3 %. Черновые развернутые калибры обычно выполняют закрытыми с чередованием раздела сверху и снизу, благодаря чему не требуется специального чернового контрольного калибра. Поэтому обычно применяют только один предчистовой контрольный калибр, а в некоторых случаях (например, по методу Д.И. Старченко) контроль высоты фланцев вообще не производят [8].

Развернутая калибровка валков имеет целый ряд преимуществ: благодаря прямому обжатию фланцев в развернутых калибрах увеличивается интенсивность деформации и сокращается число проходов; повышается температура конца прокатки и выравнивается температура по сечению раската; уменьшается износ валков вследствие небольшой разницы рабочих диаметров в калибре; снижается неравномерность деформации металла; сокращается расход энергии на прокатку; обеспечивается полная восстанавливаемость калибров и т.п.

К недостаткам этого способа следует отнести: увеличение ширины калибров при развороте полок (вследствие чего на бочке валков можно разместить меньшее число калибров); тяжелые условия входа раската с развернутыми фланцами в прямополючный калибр, что вызывает необходимость применения сложных вводных проводок для задачи и удерживания полосы в прямополючном калибре; проводки наряду с направлением полосы в калибр должны подгибать фланцы, вследствие чего быстро изнашиваются и расстраиваются; условия самоцентрирования и устойчивости раската в развернутых калибрах хуже, чем в прямополючных. Указанные недостатки несколько ограничивают применение способа прокатки швеллеров с развернутыми полками и изогнутой стенкой.

При прокатке швеллеров по способу сгибания (рис. 4.35д) в черновых проходах применяют калибры полосового типа, в которых дают интенсивное обжатие заготовки с образованием специальных выступов в местах формирования наружных углов швеллера. В последующих проходах осуществляют постепенное сгибание полок при небольших обжатиях. Известны различные варианты реализации способа сгибания. Черновые полосовые калибры могут быть открытыми или закрытыми, возможно также применение валков с гладкой бочкой. Сгибание профиля можно проводить при прямой и изогнутой стенке. Известны также случаи применения полосовых калибров во всех проходах, кроме предчистового и чистового, где осуществляют сгибание полок [8].

При прокатке по способу сгибания наиболее ярко выражены указанные выше преимущества развернутой калибровки: достигается наибольшая равномерность деформации по ширине профиля; обеспечивается минимально возможный врез калибров в валки и наименьшая разница рабочих диаметров в калибре, что позволяет уменьшить износ валков, сократить расход энергии при прокатке.

Вместе с тем усиливаются и недостатки развернутой калибровки: возрастает ширина калибров и соответственно увеличивается сила прокатки; резко ухудшаются условия входа полосового профиля в калибр при сгибании полок, а также условия центрирования профиля в калибре; иногда элементы задаваемого раската не совпадают с соответствующими элементами калибра, что приводит к искажению готового профиля и браку.

Указанное обстоятельство требует специальной конструкции и тщательной настройки вводной проводковой арматуры. В силу отмеченных недостатков способ сгибания не получил широкого применения на отечественных прокатных станах. Иногда этот способ применяют для прокатки швеллеров малых размеров на средне и мелкосортных станах [8].

Таким образом, любая схема прокатки имеет свои преимущества и недостатки.

На рис. 4.36 и рис. 4.37 приведены укрупненная схема расположения клетей последовательного крупносортного стана 550-2 ПАО «Евраз-Днепропетровский металлургический завод» и схема прокатки швеллера № 8П по клетям № 1–7, в основе которой лежит развернутая калибровка с применением полузакрытого контрольного калибра в предчистовой клетке № 7 [15].

### **4.3. Производство проката на среднесортных станах**

#### **4.3.1. Общая характеристика среднесортных станов**

На среднесортных прокатных станах (300–450) прокатывают средние по размерам круги до  $\varnothing 75$  мм, простые и фасонные профили со стороной до 90 мм, облегченные и тонкостенные балки, швеллера, угловая сталь, т.е. средне-сортные профили, пользующиеся наибольшим спросом и широко применяемые в машиностроении.

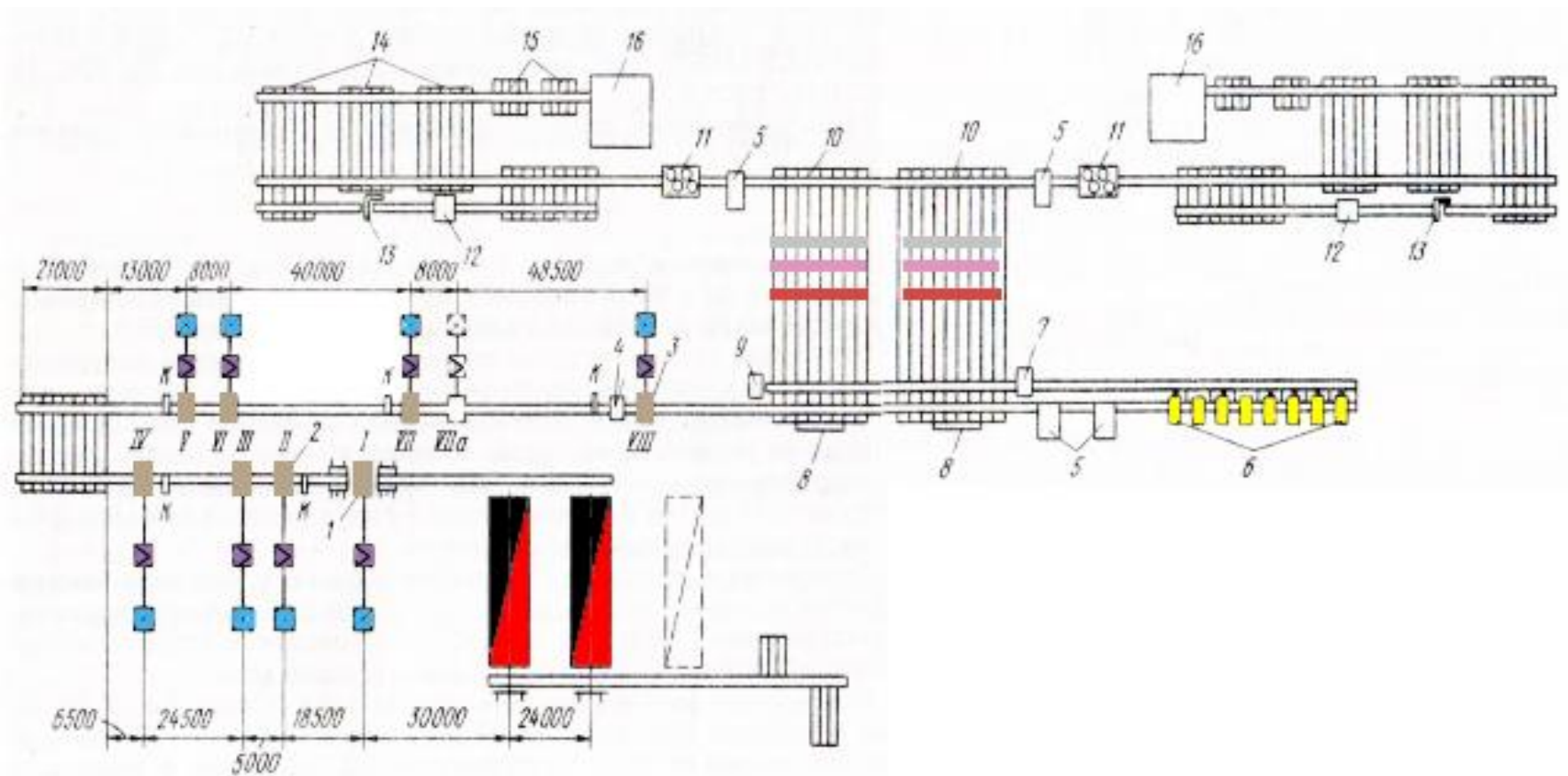


Рис. 4.36. Укрупненная схема расположения клеток последовательного крупносортового стана 550-2:  
 1 - реверсивная (многопроходная) клетка дуо; 2-8 - однопроводные клетки дуо;  
 9 - возможное место установки дополнительной клетки 7а; 10 - правильные машины

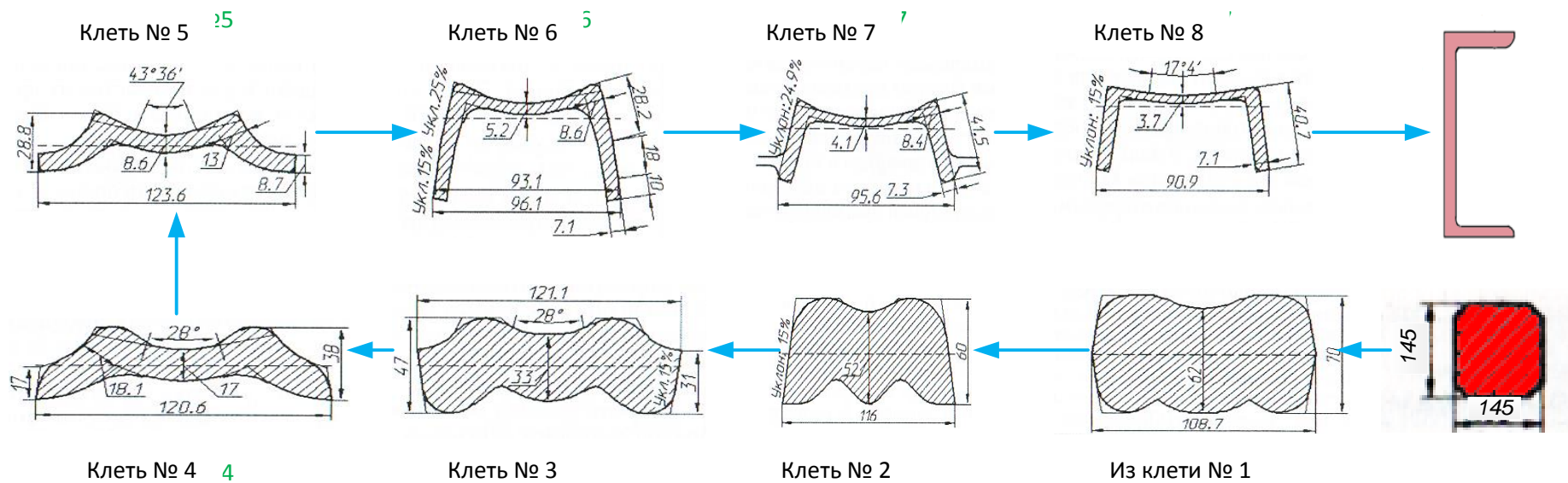


Рис. 4.37. Схема применяемых калибров по клетям при прокатке швеллера № 8П

Среднесортные станы, построенные до 70-х годов прошлого века, имели линейное, шахматное и последовательное расположение оборудования. Одними из первых были установлены совершенно одинаковые по составу и расположению оборудования среднесортные станы 300 № 1 и 3 на ММК и стан 350 № 1 на Макеевском металлургическом заводе. Эти станы характеризуются наличием непрерывных групп клетей, что являлось известным прогрессом в области прокатного производства. С конца 70-х годов начали работать среднесортные станы с непрерывным расположением клетей [4].

Крупнейший в мире среднесортный стан 450 по производству новых эффективных видов проката действует на Западно-Сибирском металлургическом заводе. Наибольшая пропускная способность с высокими технико-экономическими показателями имеет место на высокопроизводительном среднесортноблочном стане 450 Западно-Сибирского металлургического комбината, среднесортном стане 450 ЕВРАЗ ЗСМК, среднесортном стане 350 Челябинского металлургического завода и полунепрерывного среднесортного стана 350 ОАО «Северсталь», который представляет интерес не только по своей технологии, производительности и исполнению оборудования, но прежде всего по расположению прокатных клетей и оформлению непрерывных групп клетей.

Характеристика действующих в Украине среднесортных прокатных станов приведена в таблице 4.6. Самым новым в Украине среднесортным станом является непрерывный стан 390 Макеевского филиала ПАО «Енакиевский металлургический завод».

Среднесортный непрерывный стан 390 Макеевского филиала ПАО «Енакиевский металлургический завод» был спроектирован и изготовлен в конце 80 – начале 90-х годов прошлого века, введен в эксплуатацию в 2008 году с использованием расширенных технологических возможностей производства неравнополочной угловой и U-образной стали с закругленными кромками по Европейским стандартам DIN-категории, вследствие чего представляет практический интерес для подробного рассмотрения.

#### ***4.3.2. Среднесортный непрерывный стан 390 МФ ПАО «ЕМЗ»***

Сортамент проката, производимого на стане, приведен на рис. 4.38.

Схема участков среднесортного стана 390 представлена на рис. 4.40, а расположения основного оборудования стана – на рис. 4.41.

Непрерывный сортовой стан 390 состоит из 18 рабочих клетей дуо с индивидуальным приводом, в том числе 8 горизонтальных, 4 вертикальных и 6 комбинированных клетей (обеспечивают установку в линию стана рабочей клетки либо с горизонтальными, либо с вертикальными валками). Клетки установлены последовательно и объединены в три группы по шесть клетей в каждой: черновую, промежуточную и чистовую. Клетки № 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 15 – горизонтальные, клетки № 2, 4, 6, 10 – вертикальные, а клетки № 8, 12, 14, 16, 17 и 18 – комбинированные [16].



Таблица 4.6

## Среднесортные прокатные станы, действующие в Украине (на начало 2014 года)

Стан	Предприятие	Год пуска	Тип стана	Сечение заготовки, мм	Основной сортамент готовой продукции	Скорость прокатки max, м/с	Кол-во клетей
400	ПАО «Донецкий металлургический завод»	1910	линейный	115×115–140×140	Сталь полосовая сечением 6–25×60–160 мм; сталь круглая Ø45–65 мм; сталь квадратная со стороной 35–60 мм; полосоульбовые профили № 8–10; сталь полосовая желобчатая сечением 10–16×76–120 мм; сталь рессорная	4,4	4
350	ПАО «Донецкий металлургический завод»	1910	линейный	115×115–140×140	Сталь полосовая сечением 6–25×30–65 мм; сталь круглая Ø25–33 мм; сталь квадратная со стороной 22–32мм; сталь шестигранная 22–24 мм; полосоульбовые профили № 6–7; сталь рессорная	4,5	5
325	ПАО «Днепро-спец-сталь»	1951	линейный	80×85–105×105	Сталь полосовая сечением 5–16×30–100 мм; сталь круглая Ø21–40 мм; сталь квадратная со стороной 18–36 мм; сталь шестигранная 17–36 мм; арматура № 14–32; сталь угловая равнополочная сечением 35×35×4–75×75×8 мм	7	8
330	ПАО «КМЗ им. В.В. Куйбышева»	1951	линейный	100×100–200×200	Сталь полосовая сечением 8–16×40–55 мм; арматура № 18–28; сталь угловая равнополочная сечением 35×35×4–50×50×5 мм	5	8
500/370	ПАО «Донецкий металлопрокатный завод»	1958	линейный	80×80–150×150	Сталь полосовая сечением 5–16×30–100 мм; сталь круглая Ø15–56 мм; сталь квадратная со стороной 12–40 мм; сталь шестигранная 17–36 мм; арматура № 14–32; сталь угловая 35×35×4–63×63×6 мм	5	7
390	Макеевский филиал ПАО «Енакиевский металлургический завод»	2009	непрерывный	125×125–150×150	Сталь круглая Ø20–50 мм; сталь квадратная со стороной 18–45 мм; шестигранная 20–48 мм; арматура № 14–36; сталь угловая равнополочная 32×32×4–63×3×4–6 мм; швеллер № 5–8; рессора, полосовая сечением 75–90×8–12 мм	18	18

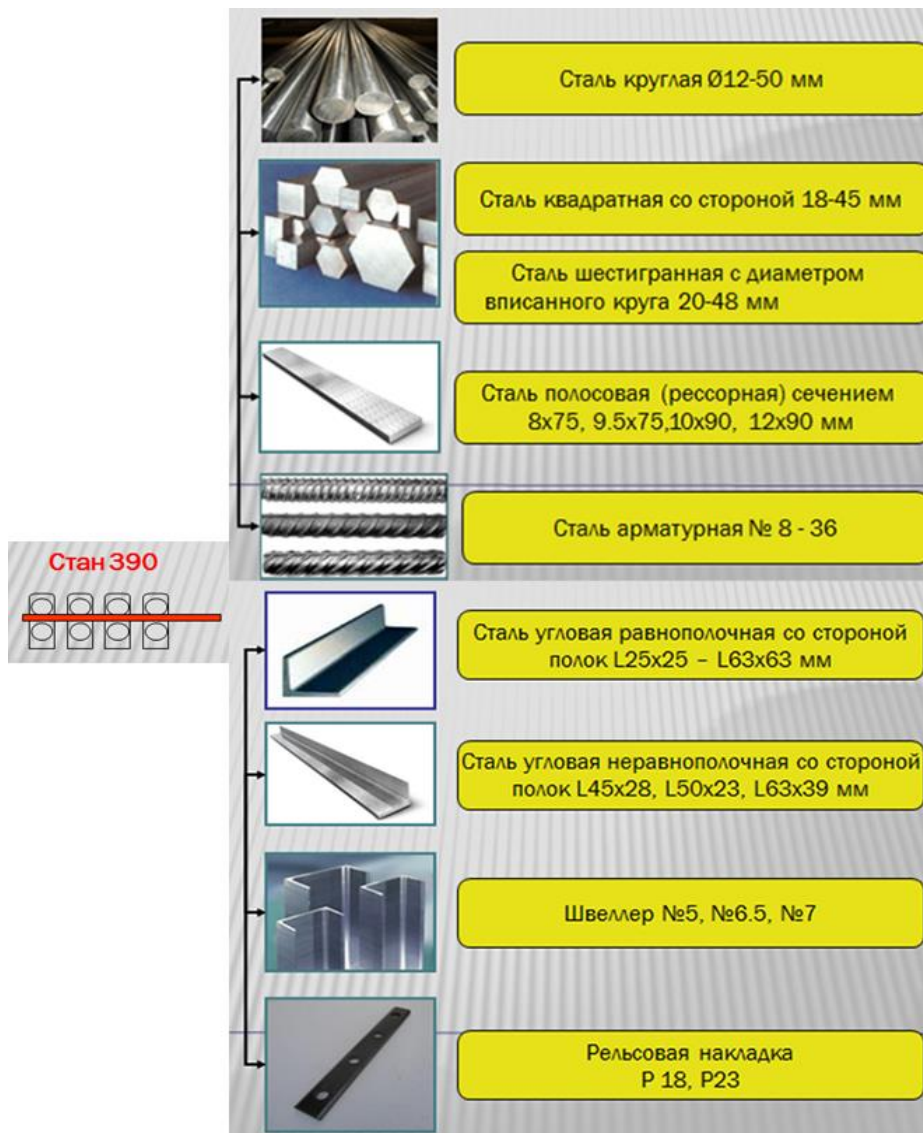


Рис. 4.38. Сортамент проката среднесортного стана 390

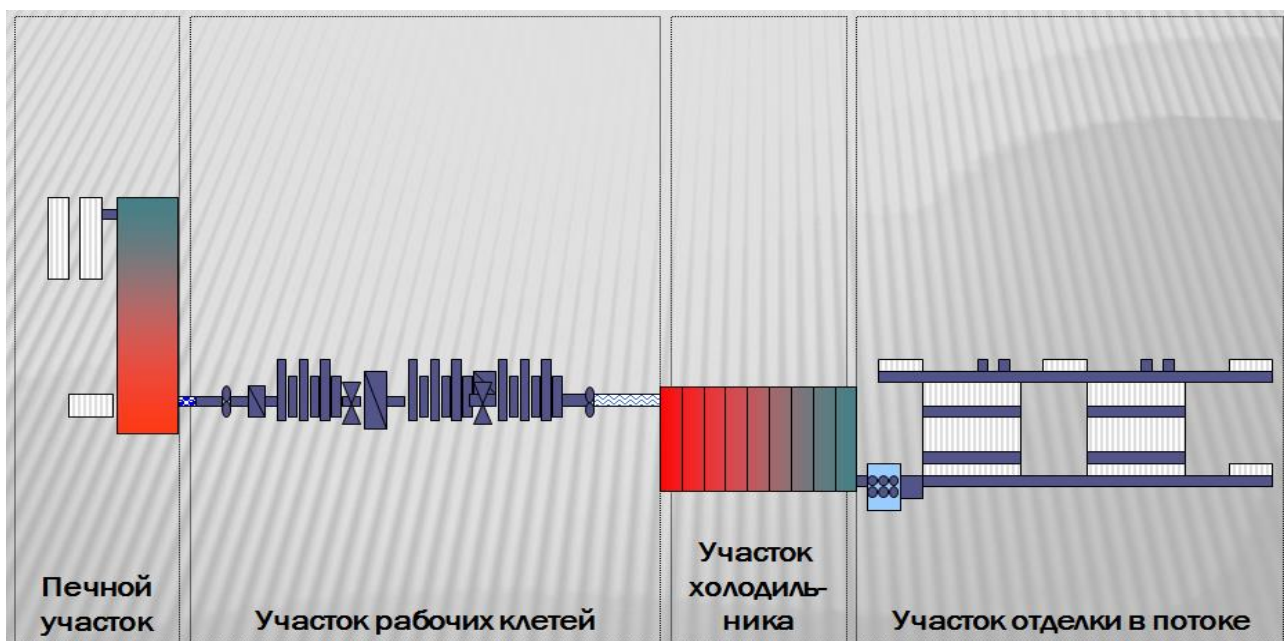


Рис. 4.40. Схема участков среднесортного стана 390

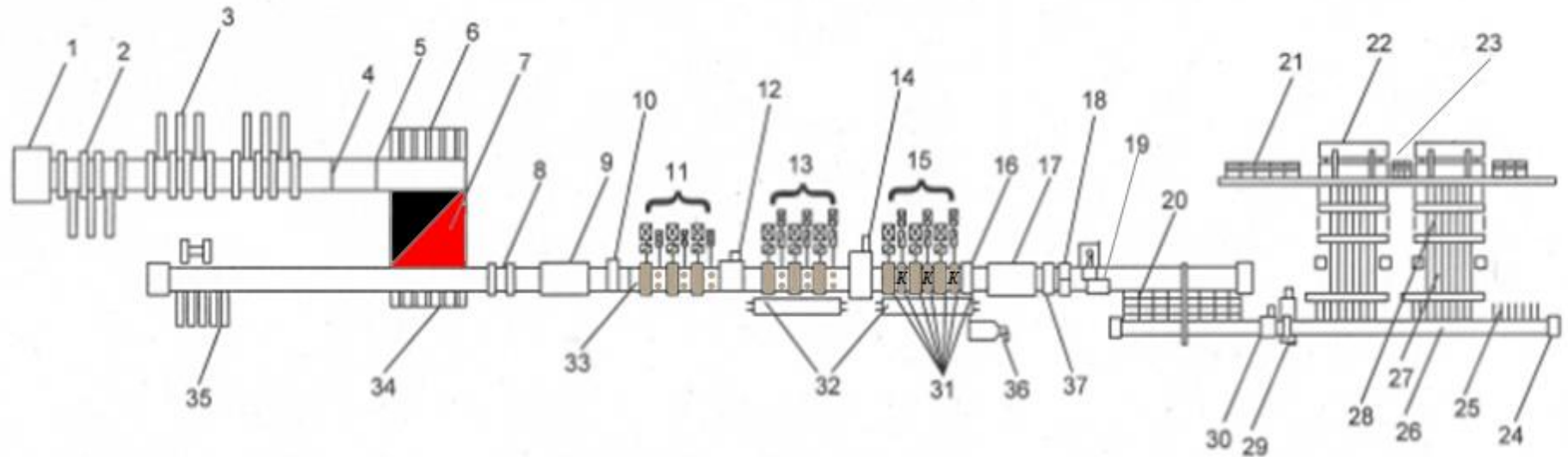


Рис. 4.41. Схема расположения основного оборудования среднесортного стана 390:

- 1 – неподвижный упор; 2 – стеллаж брака заготовок; 3 – загрузочная решетка; 4 – рольганговые весы; 5 – опускаемый упор; 6 – сталкиватель; 7 – нагревательная печь; 8 – устройство гидросбива окалины; 9 – туннель термостата; 10 – трайбаппарат перед 1-й клетью; 11 – черновая группа клетей 12 и 14 – кривошипно-рычажные ножницы; 13 – промежуточная группа клетей; 15 – чистовая группа клетей; 16 – устройство для измерения геометрических размеров; 17 – участок ускоренного охлаждения; 18 – двухсистемные ножницы; 19 – кривошипный стеллаж; 20 – рельсовый стеллаж; 21 – мостовые весы; 22 – вязальная машина; 23 – поперечный транспортер; 24 – стационарный упор; 25 – накопитель немерных прутков; 26 и 27 – цепные транспортеры 1 и 2; 28 – дозатор; 29 – летучие ножницы холодной резки; 30 – правильная машина; 31 – петлерегулятор; 32 – устройства для смены клетей; 33 – разрывные ножницы; 34 – машина съёма заготовок; 35 – сталкиватель; 36 – бракосматыватель; 37 – трайбаппарат

### *Печной участок*

Печной участок включают в себя: склад заготовок; две загрузочные решетки (рис. 4.42); загрузочный рольганг; рольганговые весы; нагревательную печь.

Подготовленные для прокатки на стане заготовки поплавно, в соответствии с заказами, подаются пратцен-кранами со склада заготовок и укладываются в один слой на одну из двух загрузочных решеток, откуда кулачками реечного шлепера транспортируются к переключателю устройству.



Загрузочная  
решетка

Рис. 4.42. Внешний вид склада заготовок с загрузочными решетками

Переключателем устройством заготовки поштучно передаются на подводный рольганг, которым транспортируются к нагревательной печи. На третьей секции подводного рольганга заготовки взвешиваются на рольганговых весах. Фиксированное положение заготовки на участке весов обеспечивается опускающим упором.

Бракованные заготовки подводным рольгангом подаются в противоположную от печи сторону к стационарному упору и сталкивателем передаются на решетку-стеллаж.

Нагрев исходных заготовок сечением 125×125 мм и 150×150 мм, длиной до 12 м осуществляется в методической комбинированной нагревательной печи (рис. 4.43) с водоохлаждающими балками (рис. 4.44), боковой подачей и загрузкой заготовок с помощью внутрипечных роликов.

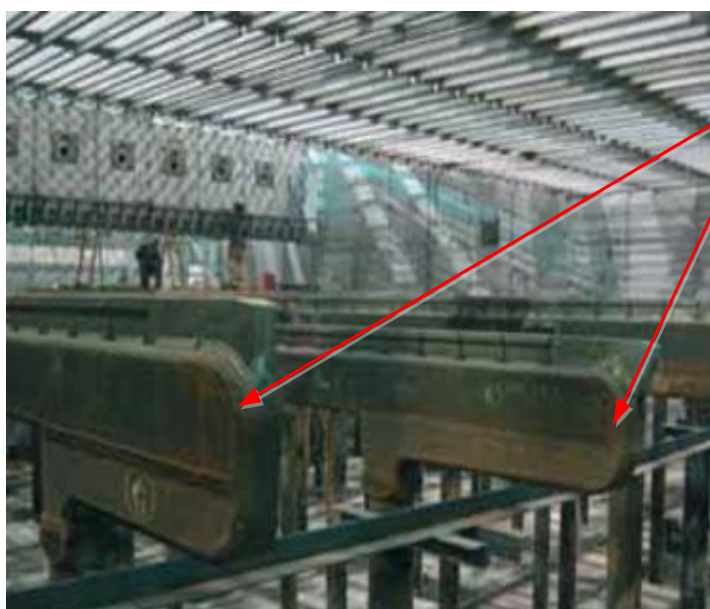
Режим работы печи – непрерывный. Основные механизмы печи:

- внутренний рольганг загрузки с упором – предназначен для поштучной загрузки заготовок в печь (8 роликов);
- сталкиватель – предназначен для поперечной передачи заготовок с рольганга на стационарные балки;

- механизм шагания – предназначен для шаговой транспортировки заготовок через печь (состоит из четырех шагающих балок);
- машина выдачи – предназначена для поштучной передачи заготовок со стационарных подовых балок на рольганг выдачи;
- внутренний рольганг выдачи – предназначен для выдачи заготовок из печи к стану (7 роликов).



Рис. 4.43. Внешний вид печи с шагающими балками



Шагающие  
балки

Рис. 4.44. Внешний вид шагающих балок при монтаже печи

Кроме того, печь оборудована механизмами подъема заслонок окон загрузки и выгрузки заготовок, гидравлическими приводами механизмов шагания, сталкивателя и машины выдачи.

### Техническая характеристика печи

- Основные внутренние размеры печи, м: длина – 17,9; ширина – 12,6; межосевое расстояние по рольгангам загрузки и выгрузки – 17,3;
- Размеры полезного пода печи: длина – 16,92 м; ширина – 12,6 м; площадь – 213 м<sup>2</sup>;
- Напряженность полезного пода, кг/м<sup>2</sup>: при длине заготовки 12 м – 657, при длине заготовки 10,5 м – 563;
- Механизм шагания: водоохлаждаемые балки – шагающих 4, стационарных 5, длина балок – 11,22 м; шагающий под – число шагающих подовых балок 4, число стационарных подовых балок 5, длина – 5,7 м; привод – гидравлический;
- Минимальный цикл выдачи заготовок – 57 сек.;
- Максимальная садка печи, штук заготовок – 73;
- Производительность печи, т/час: при длине заготовок 10,5 м – 120, при длине заготовок 12 м – 140;

Печь оснащена 72 горелками для нагрева заготовок; нижние зоны нагрева отапливаются длиннофакельными горелками, расположенными на боковых стенках печи, а верхние зоны нагрева – сводовыми плоскофакельными горелками (рис. 4.45). Горелки объединены в 6 самостоятельных зон автоматического регулирования: разделение томильной зоны по ширине печи дает возможность, при необходимости, обеспечить перекоп нагрева заготовок по их длине, с максимальным перепадом температур переднего и заднего конца – до 50 °С.

В качестве топлива используют природный газ с теплотой сгорания 8 000 ккал/м<sup>3</sup> (33 МДж/м<sup>3</sup>). Воздух для горения подается подогретым в рекуператоре до температуры 450 °С. Сжигание топлива производится при избытке воздуха 1,05–1,15 Па, а для исключения подсосов холодного воздуха – незначительном положительном давлении, равном 20–25 Па (на уровне пода печи в районе окна выдачи). При этом из окна выдачи должно быть небольшое выбивание печных газов.

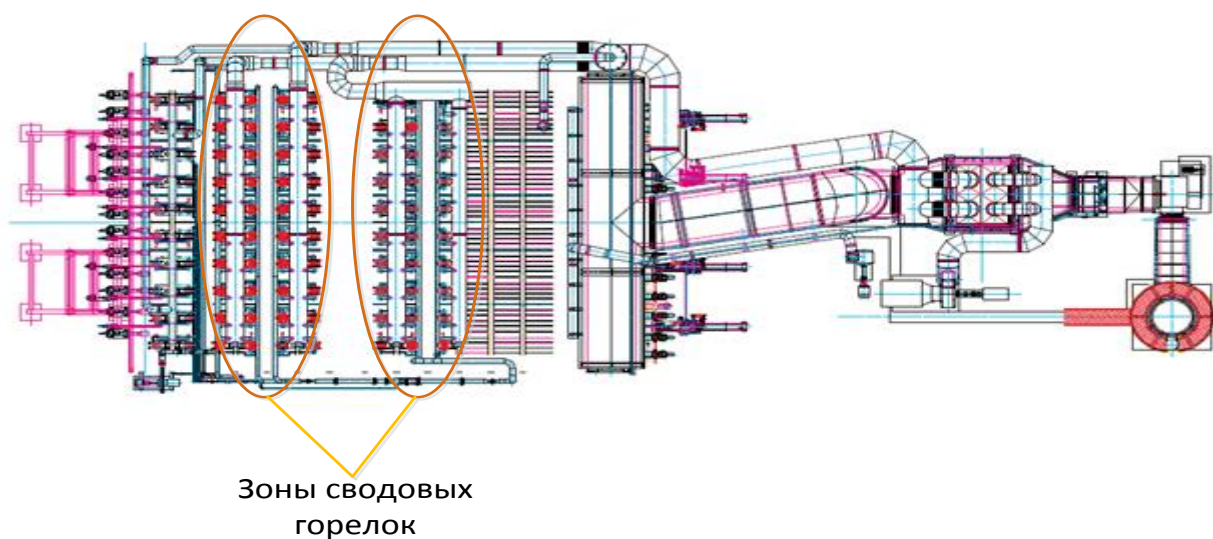


Рис. 4.45. Схема расположения сводовых плоскофакельных горелок

Изменение температуры в зонах нагрева печи производится путем регулирования подачи воздуха для горения при одновременном регулировании соотношения «воздух – газовая смесь» для каждой зоны дроссельными клапанами в соответствующих трубопроводах подачи воздуха и природодоменной смеси.

Температурный режим печи в зависимости от производительности приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7

**Режим нагрева заготовок в нагревательной печи стана 390**

Группа марок стали	Производительность печи, шт/ч	Температура по зонам печи, °С				
		нижние зоны		верхние зоны		
		1	2	3	4	5 и 6
Углеродистые обыкновенного качества и конструкционные	63	900	1 230	910	1 240	1 230
	47	800	1 200	890	1 210	1 200
	38	860	1 190	870	1 200	1 200
Низколегированные и легированные	63	870	1 220	880	1 230	1 220
	47	850	1 190	860	1 200	1 190
	38	830	1 180	840	1 190	1 190

Различают следующие основные дефекты нагрева металла: повышенный угар и обезуглероживание; неравномерный нагрев по длине и сечению; пережог; оплавление.

Повышенный угар и обезуглероживание обусловлены повышением температуры и времени нагрева металла в нагревательных и томильных зонах при избытке воздуха. Для уменьшения угара и обезуглероживания металла необходимо:

- сжигать топливо с минимальным избытком воздуха и поддерживать положительное давление в рабочем пространстве печи в пределах 20 Па (2 мм вод. ст.).
- соблюдать температурный режим нагрева заготовок, особенно при возникновении задержек и остановок на стане.

Неравномерность нагрева металла по длине и сечению заготовок возникает как при неравномерной работе сводовых горелок, так и в результате чрезмерного подсоса воздуха через подовые межбалочные зазоры. Это устраняется повышением до нормированного уровня воды в гидрозатворах пода и регулировкой работы горелок.

Перегрев, пережог, оплавление получается вследствие длительного пребывания металла в печи при высокой температуре.

Перегрев сопровождается ростом зерна, появлением оплавленной окалины на поверхности заготовки, ухудшающими механические характеристики металла, а пережог – окислением и оплавлением границ зерен, вследствие чего связь между ними ослабевает, и металл при прокатке разрушается.

Для предупреждения перегрева и пережога необходимо соблюдать температурный режим печи и технологию нагрева заготовок, особенно при длительных остановках стана.

### Участок рабочих клеток

Участок рабочих клеток стана 390 включает устройство гидросбива окалины (не было установлено), тоннельный термостат, 18 рабочих клеток, линию термического упрочнения и двухсистемные ножницы.

Нагретая заготовка после выдачи из печи на стан поступает в тоннель-термостат (рис. 4.46), обеспечивая тем самым минимальное падение и выравнивание по сечению температуры заготовки перед первой клетью, а далее трайбаппаратом подается в клеть №1 черновой группы (рис. 4.47).



Тоннельный термостат

Трайбаппарат

Рис. 4.46. Тоннельный термостат

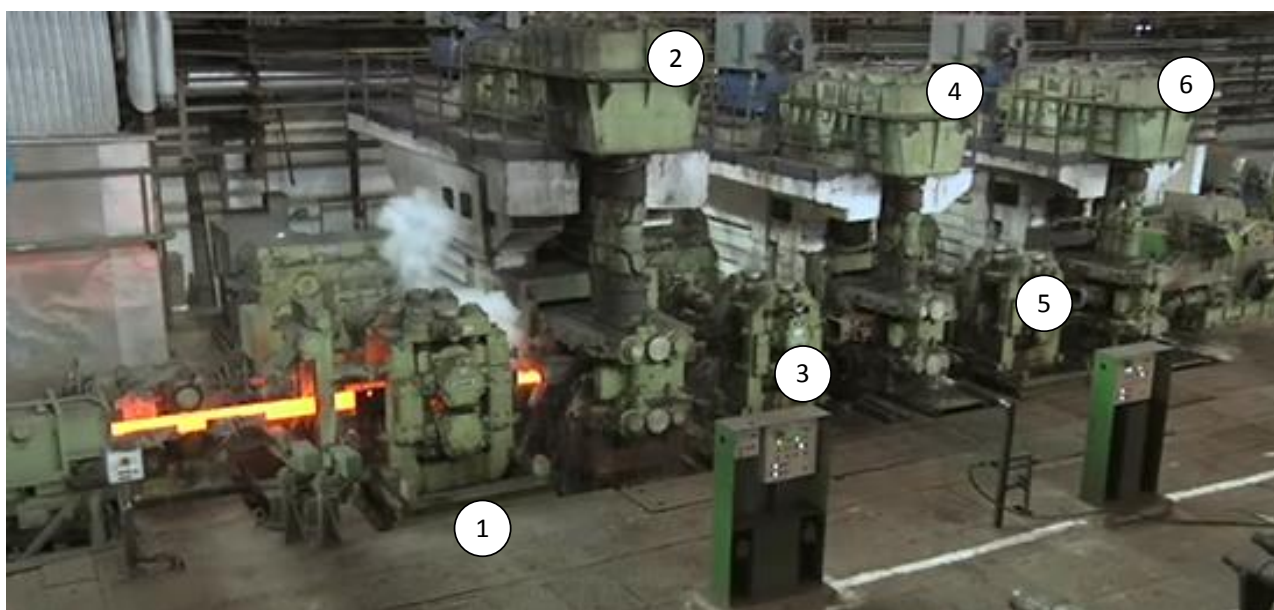


Рис. 4.47. Черновая группа клеток стана  
(клетки 1, 3, 5 – горизонтальные; клетки 2, 4, 6 – вертикальные)



Перед первой клетью установлены разрывные ножницы маятникового типа, которые при производственной необходимости (или в аварийных ситуациях) выполняют делительный рез и предотвращают дальнейшую подачу заготовки в черновую группу. При этом перемещение верхнего и нижнего ножей из исходного положения до контакта с гранями заготовки осуществляется пневмоприводом, а дальнейшее внедрение их в металл до завершения делительного реза – за счет тянущего усилия первой клетки.

Прокатка сортовых профилей на стане осуществляется в трех группах клетей:

- черновой, состоящей из одной горизонтальной и одной вертикальной клетей 600, двух горизонтальных и двух вертикальных клетей 440, с чередованием горизонтальных и вертикальных клетей в группе;

- промежуточной, состоящей из трех горизонтальных и двух комбинированных клетей 390 (горизонтальные клетки чередуются с комбинированными и вертикальными клетями);

- чистовой, состоящей из двух горизонтальных и четырех комбинированных клетей 390 (горизонтальные клетки чередуются с комбинированными).

Число проходов, а следовательно и количество используемых клетей, зависит от прокатываемого на стане профиля размера сортовой стали.

Конструкция используемых на стане клетей приведена на рис. 4.48–4.51.

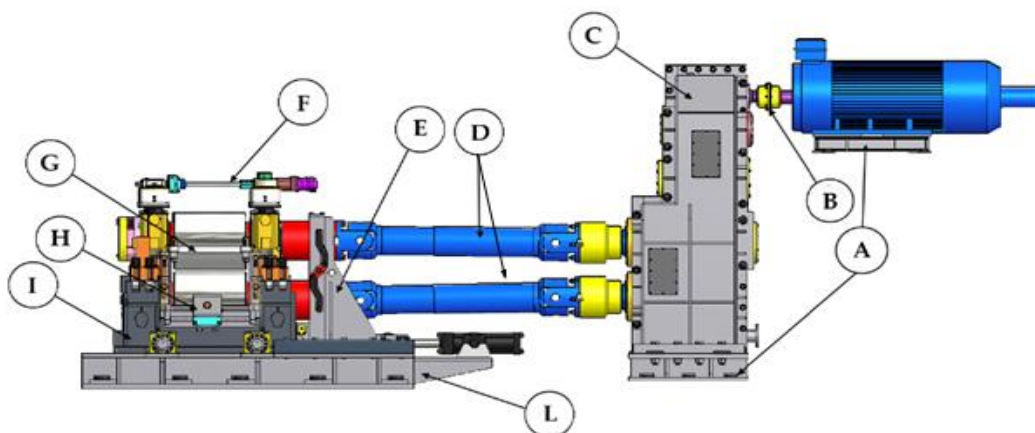


Рис. 4.48. Конструкция горизонтальной двухвалковой клетки:

А – станины; В – зубчатая муфта; С – редуктор; D – комплект шпинделей; E – опора шпинделей; F – система регулировки нажимного механизма; G – узел валков; H – опорный рычаг; I – опорный контейнер; L – основная станина

В черновой и промежуточной группах прокатка ведется без кантовки раската с минимальным натяжением его между клетями, которое автоматически поддерживается системой регулирования минимального натяжения.

На кривошипно-рычажных ножницах (после черновой и промежуточной групп) производится обрезка передних, а при необходимости и задних концов раската. Предусмотрена также аварийная порезка раската на мерные части.

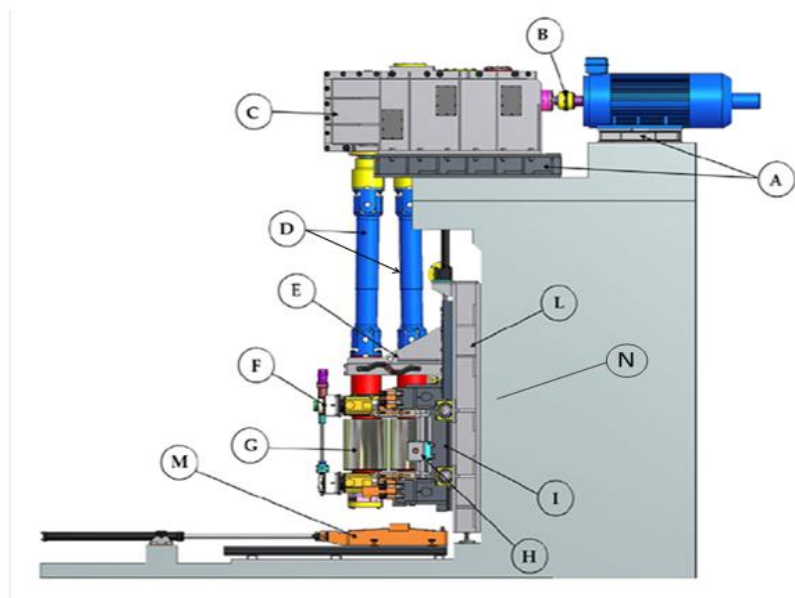


Рис. 4.49. Конструкция вертикальной двухвалковой клетки:

A – станины; B – зубчатая муфта; C – редуктор; D – комплект шпинделей; E – опора шпинделей; F – система регулировки нажимного механизма; G – узел валков; H – опорный рычаг; I – опорный контейнер; L – основная станина; M – тележка для извлечения; N – опорная стойка из бетона

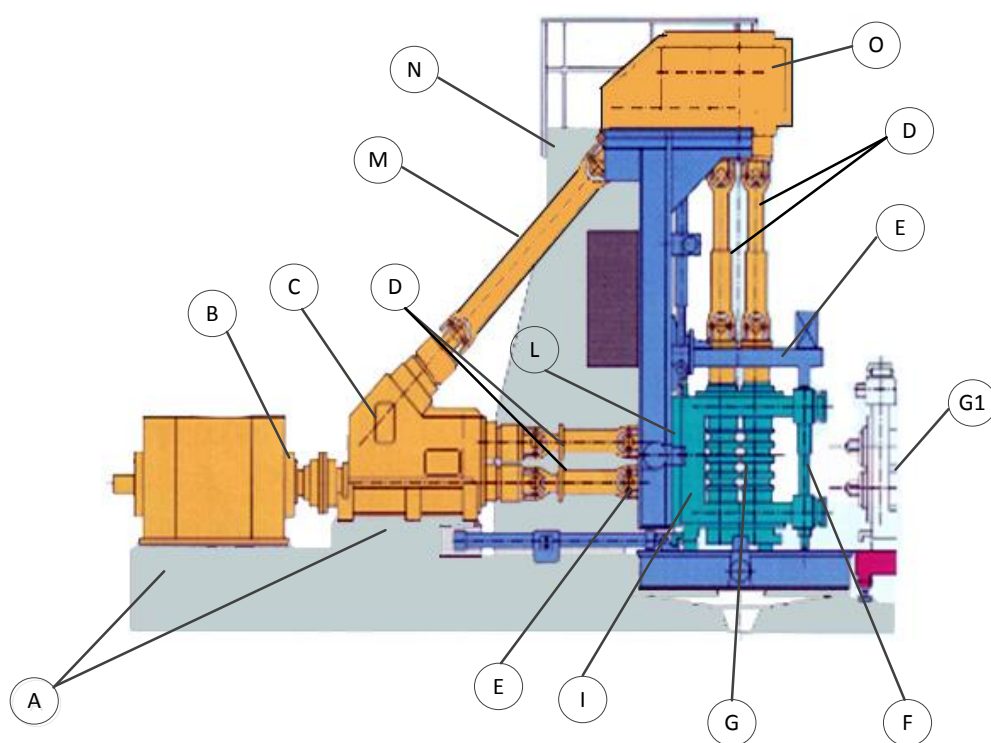


Рис. 4.50. Конструкция комбинированной (вертикально-горизонтальной) клетки:

A – станины; B – зубчатая муфта; C – комбинированный редуктор; D – комплект шпинделей; E – опора шпинделей; F – система регулировки нажимного механизма; G – узел вертикальных валков; G1 – узел горизонтальных валков; I – опорный контейнер; L – основная станина; M – наклонный шпиндель; N – опорная стойка из бетона; O – редуктор привода вертикальных валков



Рис. 4.51. Кассета комбинированной клетки с вертикальными валками

Из промежуточной группы в чистовую раскат транспортируется с минимальным натяжением или без натяжения с петлерегулированием (в зависимости от прокатываемого профиля сортовой стали).

В чистовой группе прокатка осуществляется без натяжения раската с петлерегулированием (рис. 4.52). Величина петли поддерживается автоматически петлерегуляторами с использованием импульсов от фотоэлектрических датчиков положения петли.

Рабочие клетки, по программе неиспользуемые в процессе прокатки, из потока стана удаляются, а на их место устанавливаются специальные желоба.

Максимальная скорость прокатки на стане – 18 м/с, а расчетная рабочая – от 2,3 до 17 м/с в зависимости от прокатываемого профилиразмера сортовой стали.

Готовый прокат на выходе из чистовой группы проходит постоянный контроль геометрических размеров профиля с помощью бесконтактного измерительного прибора, показания которого вводятся в автоматическую систему «Слежение за материалом» и при необходимости могут быть отпечатаны.

Готовый прокат периодического профиля после контроля геометрических размеров подвергается термоупрочнению посредством транспортировки через установку ускоренного охлаждения. При этом обеспечивается снижение вторичного окалинообразования и повышение прочностных свойств металла периодического профиля.



Рис. 4.52. Межклетьевые петлерегуляторы

Термоупрочненный или горячекатаный прокат подается трайбаппаратом к двухсистемным стоп-стартовым ножницам, на которых производится раскрой его на полосы заданной длины, транспортируемые подводящим рольгангом на холодильник (рис. 4.53), на участке которого осуществляется торможение полос готового проката (на приемном рольганге холодильника) системой двойных подъемных клапанов (разделительных перегородок и клапанов). При этом эффективность торможения ускоренно-охлажденного проката повышают за счет использования отдельных тормозных клапанов с электромагнитами, питание которых включается циклически при подъеме клапанов из исходного нижнего в верхнее положение.



Рис. 4.53. Реечный холодильник

Полосы проката охлаждаются при перемещении в поперечном направлении по реечному стеллажу. При этом производится выравнивание укладки полос проката по передним концам с помощью двух рольгангов, установленных в неподвижной системе реек стеллажа. Прокат после реечного стеллажа поступает на передаточное устройство, на собирательных цепях которого формируются слои проката с определенным для каждого профилеразмера количеством полос и шагом раскладки, которые с помощью подъемных тележек передаются на отводящий рольганг холодильника (рис. 4.54).

На отводящем рольганге слои фасонного проката торцуется по передним концам с помощью опускающегося упора и подаются к многоручьевой правильной машине (рис. 4.55). В процессе правки головная часть слоя проката после правильной машины поступает по рольгангу к летучим ножницам холодной резки (рис. 4.56), на которых производится обрезка передних концов и раскрой прутков проката на готовые длины с использованием профильных ножей. В этом случае правильная машина и летучие ножницы холодной резки работают в синхронном скоростном режиме.



Рис. 4.54. Отводящий рольганг холодильника



Рис. 4.55. Многоручьевая правильная машина



Рис. 4.56. Летучие ножницы холодной резки

При производстве простых профилей, не требующих правки, правильная машина выводится из потока и на ее место вводится секция рольганга. В этом случае слой проката (с шаговой раскладкой или уплотненный) с отводящего рольганга подается непосредственно к летучим ножницам холодной резки. Обрезка концов слоя проката и раскрой на ножницах холодной резки при непрерывном движении проката производится в автоматическом режиме – аналогично раскрою фасонного проката. Однако в зависимости от профилеразмера проката используют либо плоские, либо профильные ножи.

Слои прутков готовой длины после порезки на летучих ножницах холодной резки транспортируются в потоке на участок отделки по одному из трех технологических маршрутов:

1-й маршрут. Пакетирование или штабелирование готового проката на первом участке поперечной транспортировки со сбором пакетов круглого поперечного сечения или штабелей прямоугольного поперечного сечения на сборных решетках 1 и 2.

2-й маршрут. Пакетирование или штабелирование готового проката на втором участке поперечной транспортировки со сбором пакетов или штабелей на сборных решетках 2 и 3.

3-й маршрут. Пакетирование или штабелирование готового проката на первом и втором участках поперечной транспортировки со сбором пакетов или штабелей на всех трех сборных решетках.

В случае раскроя пакета на мерные длины с образованием остатка проката укороченной длины, последний транспортируется рольгангом за ножницами под упор и сбрасывается в карман.

Слои прутков с участка поперечной транспортировки передаются скоростным передаточным устройством на цепной транспортер № 1. Затем, после укладки следующего слоя, удвоенное количество прутков перекаладывается на рольганг для выравнивания концов с использованием стационарного упора и поступает на цепной транспортер № 2.

Передвижные вязальные машины обвязывают пакет в заданных местах, концы которой соединяются сваркой или увязываются (рис. 4.57).

При работе в режиме штабелирования для укладки в перевязку прутки фасонных профилей с цепного транспортера № 2 собираются дозаторами в слои с заданным количеством прутков, которые в определенной последовательности с использованием магнитов поворотных (кантующих) устройств (рис. 4.58) поступают на промежуточный стол, откуда перекадываются на подъемный стол укладочного устройства. Подъемный стол по мере увеличения высоты штабеля опускается. Дальнейшая последовательность технологических операций обработки штабеля аналогична пакетированию, с той лишь разницей, что штабели снимаются с тележки в положение обвязки не цепями, а горизонтальными рычагами вертикального транспортера.

Пакет или штабель готового проката со сборной решеткой передается цеховым краном на склад готовой продукции или на погрузку в вагон.



Рис. 4.57. Машина обвязки пакетов



Рис. 4.58. Магнитные поворотные (кантующие) устройства

## 4.4. Производство арматурной стали периодического профиля

### 4.4.1. Классификация и стандартизация профилей стержневой арматуры

В последнее десятилетие в мировой практике произошла существенная унификация производства арматурной стали в части внедрения единых классов и диаметров (таблица 4.8). В то же время, в зависимости от характера сцепления арматуры с бетоном конструкция периодического профиля может иметь различную конфигурацию и размеры отдельных элементов (рис. 4.59): периодический профиль образован системой ребер на его поверхности [17]. В зависимости от технологии изготовления различают арматурную сталь горячекатаную стержневую (сокращенно: стержневая), обозначаемую индексом «А», холоднотянутую проволочную – «В», арматурные пряди – «П» и арматурные канаты – «К».

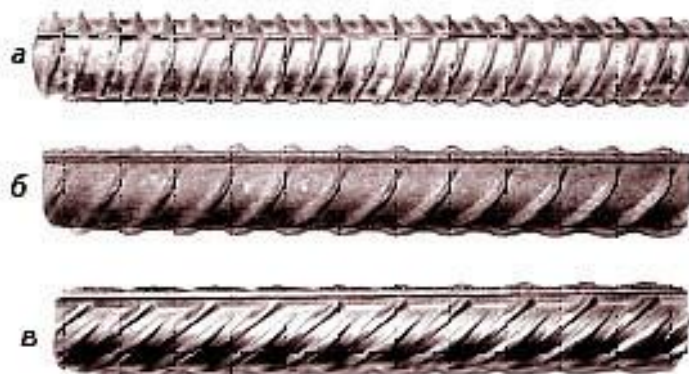


Рис. 4.59. Внешний вид арматурного периодического профиля:

- а) кольцевой с постоянной высотой ребер, ГОСТ 5781-82,  $f_R > 0,1$  (не нормируется);
- б) двухрядный европрофиль с ребрами серповидной формы, СТО АСЧМ 7-93,  $f_R \geq 0,056$ ;
- в) серповидный четырехсторонний ТУ 14-1-5526-2006,  $f_R \geq 0,075$

Профиль арматурного проката во многом определяет эффективность его сцепления с бетоном и, следовательно, надежность анкеровки арматуры, трещиностойкость и деформативность железобетонных конструкций при эксплуатационных нагрузках. Характерной особенностью холоднотянутой арматуры, производимой в России, является пониженное значение относительного удлинения, что связано в основном с явлением наклепа и последеформационного старения.

С увеличением относительной площади смятия поперечных ребер  $f_R$  (так называемого критерия Рема, оценивающего эффективность сцепления с бетоном периодического профиля арматуры) до уровня  $f_R = 0,075$  трещиностойкость железобетона существенно улучшается. Выпускавшаяся по ГОСТ 5781-82 до начала 1990-х годов отечественная арматура кольцевого профиля с постоянной высотой ребер имела ненормируемое, но очень высокое значение критерия Рема  $f_R > 0,1$ . Арматуру с таким периодическим профилем, в основном для транспортного строительства, металлургические заводы производят и в настоящее время.



Таблица 4.8

## Производство арматурной стали в мировой практике: классы и диаметры

Страны и стандарты	Класс арматуры, диаметр арматуры, мм	Механические свойства			
		$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta$	$A_{gt}$
		Н/мм <sup>2</sup>		%	
Россия ГОСТ P5244-2008  ГОСТ 5781  ГОСТ 10884-94	A500С, Ø6-40 мм	500	600	$\delta_5$ 14	-
	B500С, Ø 4-12 мм	500	550	-	2,5
	A400(А-Ш)	400	570	14	-
	25ГС2 и 35ГС, Ø6-40 мм	400	600	14	-
	Ат400С, Ø6-40 мм	440	550	$\delta_5$ 16	-
	Ат500С, Ø6-40 мм	500	600	14	-
Украина ДСТУ 3760-98	Ат400С, Ø6-40 мм	400	500	$\delta_5$ 16	2,5
	Ат500С, Ø6-40 мм	500	600	14	2,5
США ASTM A615/ A615M-06 A706/ A706M-06a	Gr.40(300), Ø10-19 мм	300	420	$\delta_{20}$ 12	-
	Gr.60(420), Ø10-57 мм	420	620	7-9	-
	Gr.75(520), Ø10-57 мм	520	690	6-7	-
Великобритания BS4449:2005 BS EN 10080:2005	B500А, Ø6-50 мм	500	1,05 $\sigma_T$	-	2,5
	B500В, Ø6-50 мм	500	1,08 $\sigma_T$	-	5,0
	B500С, Ø6-50 мм	500	1,15 $\sigma_T$ - 1,35 $\sigma_T$	-	7,5
Германия DIN 488	Bst 420, Ø6-40 мм	420	500	$\delta_{10}$ 10	-
	Bst 500, Ø6-12 мм	500	550	10	-
Япония JIS G 3112	SD 40, Ø6-51 мм	400	570	$\delta_5$ 16	-
	SD 50, Ø6-51 мм	500	525	12	-
Франция NF A 35-016	Fe E500-2	500	1,03 $\sigma_T$	-	2,5
	Fe T500-3	500	1,05 $\sigma_T$	-	5,0

По мере технического развития и увеличения производительности прокатного производства выявились недостатки кольцевого профиля при выпуске и применении арматуры. Частое расположение поперечных ребер, пересекающихся с продольными ребрами арматуры по ГОСТ 5781-82, обуславливает ускоренный износ и, следовательно, большой расход дорогостоящих чугуновых валков чистовых клетей прокатного стана. Это связано с тем, что в процессе нарезки формирующих поперечные ребра канавок на поверхности рабочих калибров валков удары при входе рабочего инструмента способствуют образованию микротрещин в хрупком металле валка. При прокатке арматуры на этих участках калибров чугун постепенно выкрашивается, искажается форма поперечных ребер, в результате чего продукция перестает соответствовать стандарту.

В начале 1990-х годов многие металлургические предприятия стран СНГ, производящие арматурный прокат, начали массово осваивать зарубежные рынки сбыта своей продукции, естественно, ориентируясь при этом на требования стандартов стран-покупателей арматуры для железобетона. С учетом положений иностранных стандартов в Украине был разработан стандарт ДСТУ 3760:2006, а в России были разработаны стандарты СТО АСЧМ 7-93, ГОСТ 10804-94 и ГОСТ Р 52544, где был принят периодический профиль европейского образца.

В соответствии с ДСТУ 3760:2006 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Общие технические условия» (ISO 6535-2:1991, NEQ) арматурный прокат (А) подразделяют на классы в зависимости от показателя механических свойств – установленного стандартом нормируемого значения условного или физического предела текучести в Н/мм<sup>2</sup>.

В зависимости от служебных свойств прокат подразделяют на:

- свариваемый (индекс С);
- стойкий против коррозионного растрескивания под напряжением (индекс К);
- несвариваемый (без индекса С);
- нестойкий против коррозионного растрескивания (без индекса К).

Арматурный прокат изготавливают классов:

- А240С - с гладким профилем;
- А300С, А400С, А500С, А600, А600С, А600К, А800, А800К А1000 - с периодическим профилем.

Круглый (гладкого профиля) арматурный прокат изготавливают диаметром от 5,5 до 40 мм. Арматурный прокат периодического профиля изготавливают номинальным диаметром от 6 до 40 мм.

Арматурный прокат поставляют в прутках и мотках (таблица 4.9).

Арматурный прокат гладкого профиля изготавливают по ГОСТ 2590-89 обычной точности, периодического профиля (рис. 4.60). Прутки должны иметь поперечные выступы серповидной формы, которые не должны соединяться с продольными выступами. Продольные выступы не обязательны. По соглашению изготовителя с потребителем допускается изготовление проката промежуточных размеров и с другими периодическими профилями.

Виды поставки ненапрягаемой арматуры в зависимости от её диаметра

Диаметр арматуры, мм	4-5	6-8	10-12	14-20	22-28	32-40
Объём, %	12-14	16-18	26-28	13-15	18-20	7-8
Способ производства	В мотках		В мотках, стержнях	В стержнях		

В зависимости от механических и специальных свойств арматурный прокат периодического профиля изготавливается из спокойных марок сталей. При этом массовые доли химических элементов в стали по ковшевой пробе должны соответствовать приведенным в таблице 4.10 значениям.

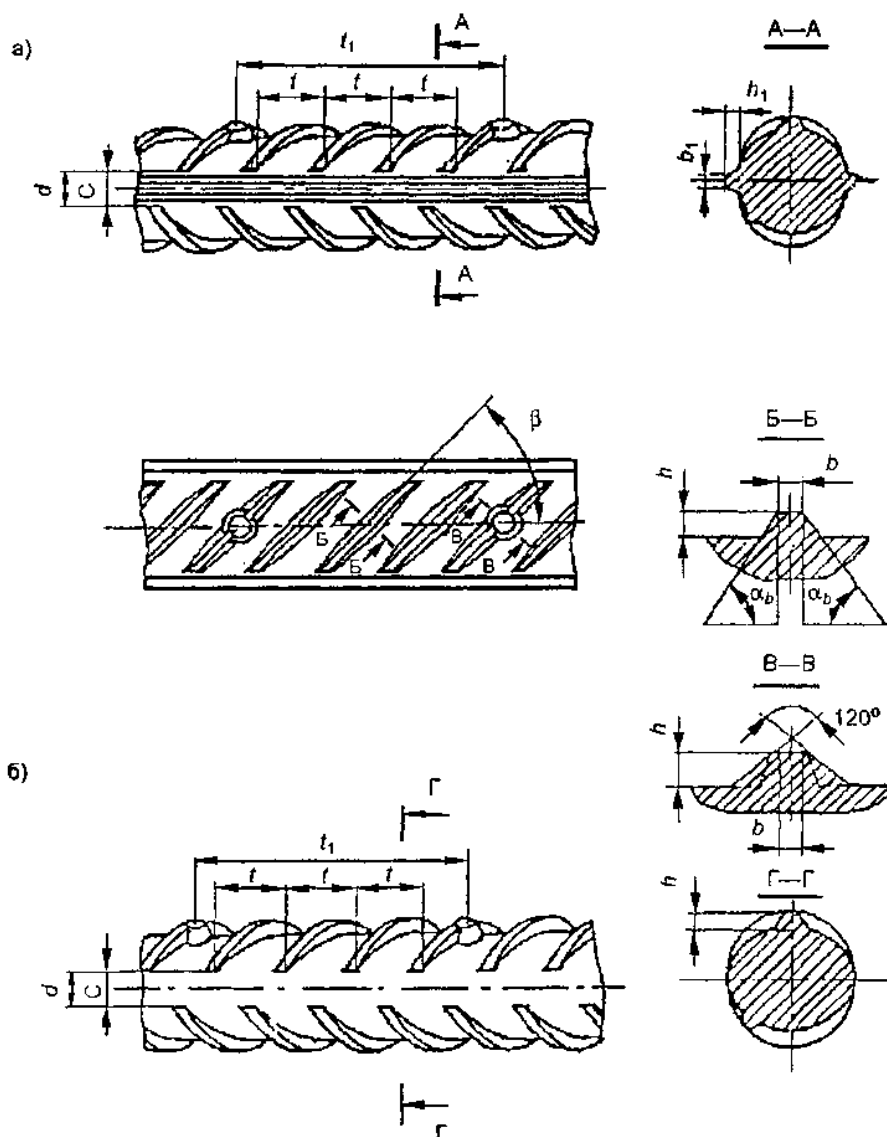


Рис. 4.60. Конструкция арматурного периодического сечения (ДСТУ 3760:2006):

а - с продольными выступами; б - без продольных выступов

**Массовая доля химических элементов в стали**

Класс арматурного проката	Массовая доля элементов, % не более						
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	азот	мышьяк
A240C	0,22	-	-	0,045	0,045	0,012	0,08
A300C	0,22	-	-	0,045	0,045	0,012	0,08
A400C	0,22	-	-	0,045	0,045	0,012	0,08
A500C	0,22	-	-	0,045	0,045	0,012	0,08
A600 A600C A600K	0,28	1,00	1,6	0,045	0,045	0,012	0,08
A800 A800K	0,32	2,40	2,3	0,040	0,040	0,012	0,08
A1000	0,32	2,40	2,3	0,040	0,040	0,012	0,08

Термическое упрочнение углеродистых и низкоуглеродистых сталей является эффективным способом повышения их прочностных характеристик. Для этого используют высокотемпературную термомеханическую обработку, при которой профиль после прокатки в чистовой клети подвергается интенсивной закалке с последующим самоотпуском. При этом повышение прочностных свойств достигается путем направленного ориентирования мартенситной фазы и ее измельчения, вызванного направленным фазовым наклепом. Степень упрочнения зависит от скорости перемещения стержня и интенсивности охлаждения.

#### **4.4.2. Калибровка арматурной стали периодического профиля**

Несмотря на большую аналогию между схемами прокатки и калибровки круглой и арматурной стали периодического профиля, калибровка последней имеет свои особенности [17]. При прокатке арматурной стали периодического профиля требуется определенное соотношение между диаметром профиля и катающим диаметром валков, а также специфическое построение двух калибров, предшествующих чистовому. Чистовой калибр после расточки (рис. 4.61) подвергают дополнительно фрезерованию (рис. 4.62) или электроэмульсионной обработке для получения на его поверхности специальных впадин.

##### *Построение чистового калибра*

Как видно на рис 4.59 арматурная сталь периодического профиля представляет, в большинстве случаев, собой круглый стержень, на поверхности которого имеются поперечные и продольные выступы, чаще всего боковые по месту разъема валков.

Размеры элементов чистового калибра (профиля) в зависимости от номера (расчетного диаметра  $d_p$ ) прокатываемой стали определяют по нормативным документам на данный профиль.

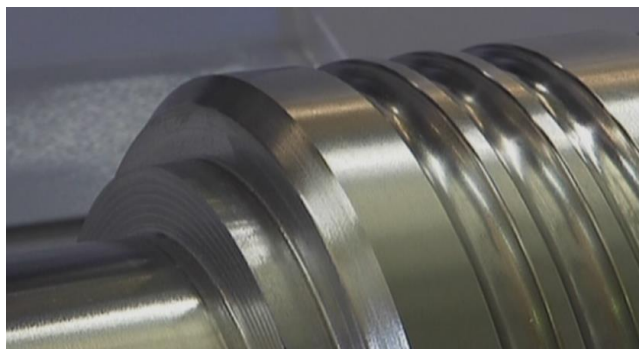


Рис. 4.61. Вид бочки чистового валка после расточки калибров



Рис. 4.62. Фрезерование чистовых ручьёв

Калибр с номинальным (внутренним) диаметром, изготовленный с учетом минусового допуска на профиль, позволяет осуществлять также его прокатку с минусовым допуском и более полно использовать валки. Минусовый допуск также является допуском на возможное увеличение диаметра за счет снятия материала валков маленькой фрезой-резцом при выполнении впадин.

Теоретические разработки, аналитические выводы и практические исследования показывают, что правильное очертание поверхностных выступов зависит главным образом от требуемого отношения между расчетным диаметром (номером)  $d_p$  профиля и катающим диаметром  $D_k$  валков. Это отношение должно составлять:  $d_p/D_k \leq 0,1$  [17]. Если это соотношение не выдерживается, тогда поверхностные винтовые выступы не выполняются нужной формы, они получаются как бы со срезом, что не обеспечивает необходимого их зацепления с бетоном. Испытания железобетона на растяжение с такой арматурой свидетельствует о неудовлетворительных показателях напряжений.

#### ***Форма и размеры предчистового овала***

Арматурный прокат гладкого профиля прокатывают при постоянном коэффициенте высотной деформации по длине раската, пренебрегая некоторым незначительным непостоянством ширины  $b$  предчистового овала, задаваемого в чистовой

калибр. Практика показывает, что наиболее рациональной формой предчистового калибра в этом случае является овал, очерченный одним радиусом.

В случае же прокатки арматурного проката периодического профиля использование овалов, очерченных одним радиусом, дает положительный результат только для малых размеров (до № 18). Для больших размеров применение такого овала не дало положительных результатов. Причинами этому является наличие острых выступов на краях по большой оси овала, и периодическая неравномерность коэффициента высотной деформации  $b/d$  по его длине [17].

Неравномерность коэффициентов высотной деформации по длине раската связана с формой готового профиля, имеющего впадины и выступы. Острые выступы у границ очертания овала по большой оси, охлаждающиеся значительно быстрее, чем остальные части сечения, приводят к дополнительной неравномерности коэффициента высотной деформации. В связи с этим очертание чистового профиля не соответствует конфигурации калибра и по всей длине раската сверху и снизу (по вертикальному диаметру) образуются на выступах либо один острый зубец, если овал имеет один острый выступ, либо площадка с двумя зубцами, если овал имеет два острых выступа. Как правило, высота выступа готового профиля не соответствует глубине впадин калибра. Это несоответствие тем больше, чем больше разница в температурах острых выступов овала и остальной части сечения.

Точное получение поверхностных винтовых выступов и равномерное охлаждение металла по всему сечению готового профиля оказалось возможным при плоском периодическом овале, имеющем показанную на рис. 4.63 форму.

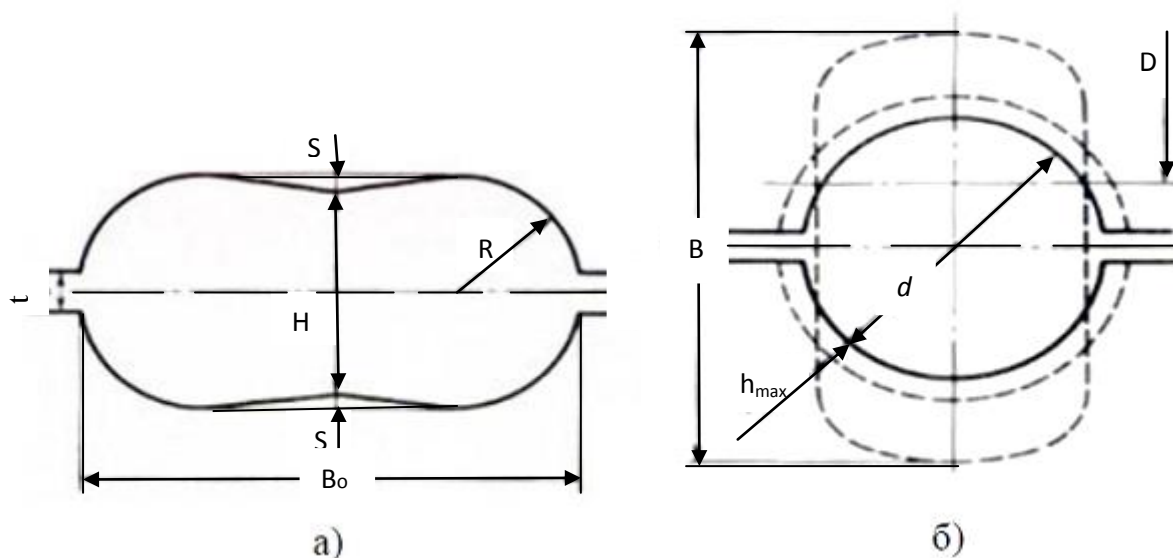


Рис. 4.63. Форма предчистового овала для арматурной стали периодического профиля (а) и схема обжатия овально полосы в чистовом калибре арматурной стали (б) [17]

Построение предчистовых плоских овалов, применяемых для прокатки периодических профилей арматурной стали, следующее: посередине ширины овала его

высота выполняется на 1,0–1,5 мм меньше, чем по краям. Это делается во избежание переполнения чистового калибра по разьему.

### ***Форма и размеры предовального раската***

Для арматурного профиля можно применять различный по сечению предовальный раскат: квадратный – для малых размеров (до номера № 16), прямоугольный – для средних размеров (№ 18–45) и специальной конфигурации – для остальных размеров. В условиях своевременных непрерывных станов предовальный раскат для мелких и средних размеров имеет сечение ребрового овала, близкое по своей форме к сечению готового профиля. В этом случае соотношение между шириной  $B$  и высотой  $H$  предовального раската составляет  $B/H = 0,65 \div 0,84$ .

Увеличение размера предовального сечения в сравнении с размером сечения, необходимого для прокатки обычного круга, объясняется тем, что профиль арматурной стали оформляется только в одном чистовом калибре. Чтобы выштамповать поверхностные выступы профиля, необходимо в чистовой калибр задать больше металла. Это условие и обеспечивается увеличенным размером предовального сечения. Следует также иметь в виду, что в чистовой клети нагрузка на валки и электродвигатель получается очень высокой, так как величина вытяжки в чистовом калибре находится в пределах 1,3–1,5.

Все предшествующие калибры и схема калибровки в целом могут быть приняты в каждом конкретном случае в зависимости от типа стана. Система калибровки может быть «прямоугольник – ящичный квадрат» или другая подходящая система.

Общая схема прокатки арматурной стали периодического профиля в условиях непрерывного среднесортного стана показана в таблице 4.11.

### ***Расположение калибров на валках чистовой клети***

Расположение калибров на валках чистовой клети для арматурной стали периодического профиля имеет специфические особенности. Калибры нельзя располагать с произвольным расстоянием между их вертикальными осями, так как при прокатке арматурной стали необходима установка выводных проводок. Эти проводки не могут опираться своими носками на ручки верхнего и нижнего валков. Они должны опираться плечиками на бурты между калибрами. Поэтому минимальная ширина промежуточных буртов  $b_{\text{бурт}} = b_{\text{пл.пр}} + 2h + (5 \div 10)$  мм, где  $b_{\text{пл.пр}}$  – ширина плечика проводки, мм;  $h$  – высота поверхностных выступов на профиле, мм. Ширину крайних буртов принимают исходя из необходимости установки вводной и выводной арматуры.

### ***4.4.3. Многоручьевая прокатка-разделение***

Одним из наиболее известных технических решений, которое обеспечивает снижение себестоимости металлопродукции и повышает рентабельность производства арматурных профилей за счет уменьшения расходов по переделу, следует считать многониточную прокатку-разделение (МНР) или прокатку «slit rolling» в англоязычной трактовке.

Таблица 4.11

**Общая схема прокатки арматурной стали периодического профиля  
в условиях типового непрерывного среднесортного стана**

Сечение исходной заготовки				160x160x12000 [мм] 130x130x12000 [мм]		Вес заготовки: 2365 [кг] 1562 [кг]										
Группа клетей	Прокатная клеть		Мощ- ность привода [кВт]	Тип сечения проката [мм]												
	№	Тип		∅ валка х длина бочки [мм х мм]	Арматура 4 х 8 160x160	Арматура 3 х 10 130x130	Арматура 2 х 13	Круг/ арматура 16	Круг/ арматура 19	Круг/ арматура 22	Круг/ арматура 25	Круг/ арматура 29	Круг/ арматура 32	Круг/ арматура 35	Круг/ арматура 39	
Схема прокатки и виды прокатов [мм]																
Обжимная	1	H600	670x540	500												
	2	V600	670x540	500												
	3	H600	670x540	500												
	4	V600	670x540	500												
	5	H440	440x710	500												
	6	V440	440x710	500												
Черновая	7	H440	440x710	650												
	8	V440	440x710	650												
	9	H340	340x630	650												
	10	V340	340x630	650												
	11	H340	340x630	650												
	12	V340	340x630	650												
Чистовая	13	H340	340x630	800												
	14	H/V340	340x630	800												
	15	H340	340x630	800												
	16	H/V340	340x630	800												
	17	H340	340x630	800												
	18	H/V340	340x630	800												



Сравнительная схема классической непрерывной прокатки и прокатки «slit rolling» в чистовой группе клетей непрерывного стана приведена на рис. 4.64.

В настоящий момент этот технологический процесс на сортовых станах Украины, например, реализован в следующих формах:

- прокатка-разделение раскатов контролируемым разрывом (мелкосортные станы ПАО «АрселорМитталКриворожсталь»);
- многониточная прокатка-разделение («slit rolling») с использованием неприводных деформационно-делительных устройств (среднесортный стан 390 МФ ПАО «Енакиевский металлургический завод»).

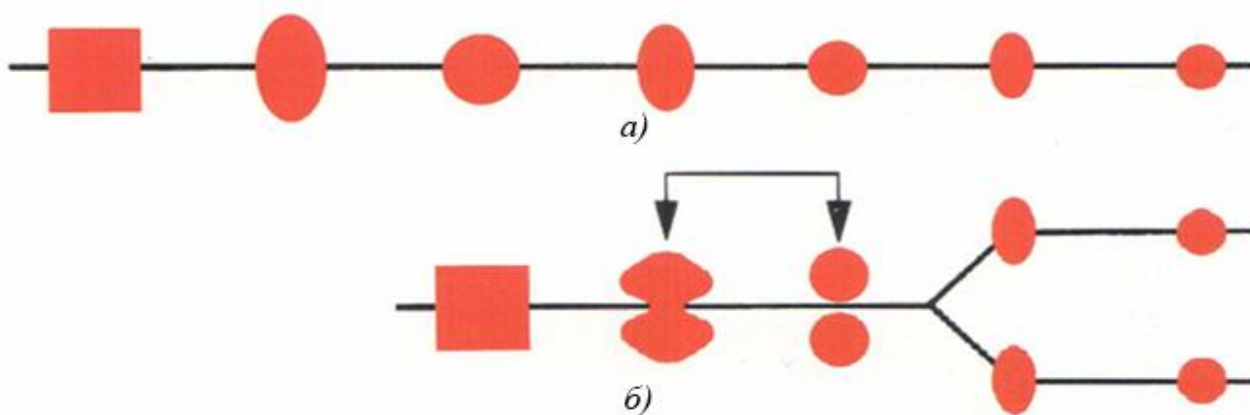


Рис. 4.64. Сравнительная схема классической непрерывной прокатки (а) и прокатки «slit rolling» (б) в чистовой группе клетей непрерывного стана

#### ***Прокатка-разделение раскатов контролируемым разрывом***

Сортамент мелкосортных станов ПАО «АрселорМитталКриворожсталь», в основном, включает арматурные профили (АП) для железобетонных конструкций № 10–28, производимые в прутках. При этом наибольший объем производства приходится на АП мелких сечений (№ 10–16). В этой связи мелкосортные станы (МС) 250-1, 3–5 были специализированы на производстве узкого диапазона АП: МС 250-1 – горячекатаных термоупрочняемых АП № 10 и № 12 по классу АтIII, Ат V и АтVI; МС 250-3 – горячекатаного термоупрочняемого АП № 12 по классу АтIII; МС 250-3 – горячекатаных термоупрочняемых АП № 14 и № 16 по классу АтIII; МС 250-5 – горячекатаных термоупрочняемых АП № 18–28 по классу АтIII и АП № 14 и № 16 по классу АтIV и АтV.

Принципиальная схема двухручьевого прокатки-разделения АП с использованием контролируемого разрыва показана на рис. 4.65 [18]. Из прямоугольной или квадратной заготовки в двухручьевом калибре формируют раскат, состоящий из двух профилей ромбической или квадратной формы, соединенных между собой вдоль одной из диагоналей перемычкой, а продольное разделение раската осуществляют в двухручьевом калибре в валках горизонтальной клетки.

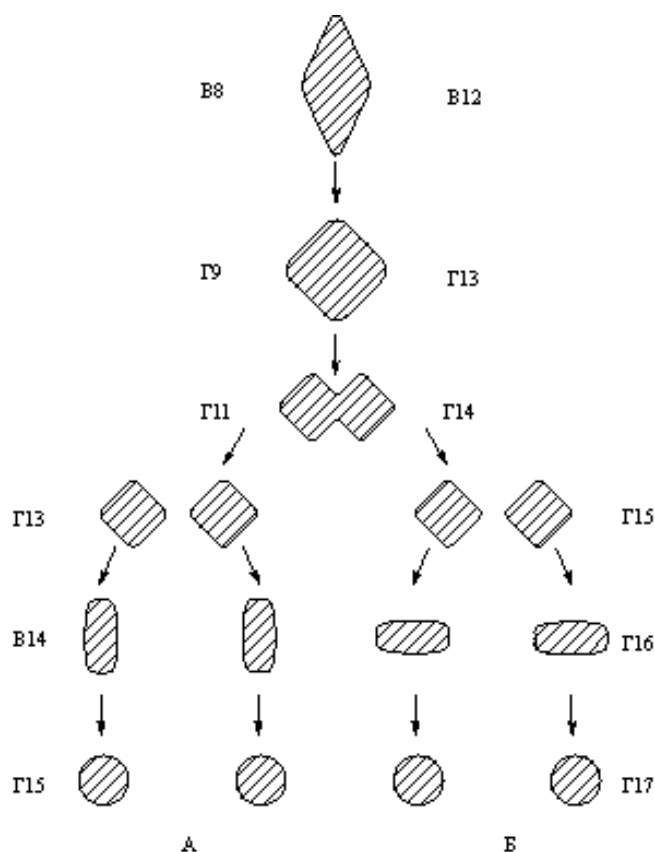


Рис. 4.65. Принципиальная схема двухручьевого прокатки-разделения при производстве арматурных профилей (цифры – номера клеток с вертикальными (В) и горизонтальными (Г) валками) [18]

При продольном разделении раската происходит разрушение перемычки без образования в месте разделения заусенцев в виде шейки разрыва. Разделенные квадратные профили после разделения в горизонтальной плоскости одновременно прокатывают в две нитки последовательно в овальных и чистовых калибрах в готовый профиль.

Новый способ прокатки позволяет осуществлять формирование и продольное разделение двухниточного раската при наличии двух специальных двухручьевых калибров, имеет повышенную износостойкость валков, обеспечивает центрирование раскатов в двухручьевых калибрах и получение бездефектной поверхности готового проката, отличается простотой настройки валков и привалковой арматуры.

***Многониточная прокатка-разделение («slit rolling») с использованием неприводных деформационно-делительных устройств (НДДУ)***

В настоящее время на среднесортных и мелкосортных станах освоено несколько технологических схем реализаций этого процесса. При этом наиболее часто встречаются следующие схемы прокатки (рис. 4.66):

- арматурный профиль № 8–12 – прокатывается с разделением на 2-4 нитки в зависимости от сечения исходной заготовки;
- арматурный профиль № 14 – с разделением на 2-3 нитки в зависимости от сечения исходной заготовки;

- арматурный профиль № 16 – с разделением на 2 нитки.

Пример практической реализации в условиях непрерывного стана схемы многолучевой четырехниточной прокатки-разделения из заготовки сечением 125×125 мм представлен на рис. 4.67 [19]. Прокатка в черновой группе клетей ведётся с применением системы калибров «овал-круг». Используются плоские овалы, легче удерживаемые проводками и более устойчивые при кантовке. Особенности технологии прокатки-разделения в четыре нитки следующие:

- в клетях 14 – начинается формирование раската, имеющего форму четырех профилей, соединенных широкими перемычками;
- клеть 15 – не используется;
- в клетях 16 – формируется раскат с уменьшенной толщиной перемычек между профилями;
- клеть 17 – не используется;
- в клетях 18 – окончательно формируются перемычки, соединяющие части раската круглого сечения (на выходе из клетки установлено неприводное деформационно-делительное устройство с двумя парами роликов; продольное разделение раската на четыре нитки осуществляется за счет расклинивающего действия первой пары роликов на крайние части раската; затем внутренний сдвоенный раскат делится второй парой роликов; разделенные раскаты имеют форму круга);
- в клетях 19 – прокатываются четыре овала;
- в клетях 20 – прокатывается готовый профиль в четыре нитки.

Схема процесса деления раската на четыре нитки, форма делительных роликов и внешний вид устройства показаны на рисунке 4.68.

#### **4.4.4. Технология термического упрочнения движущихся арматурных прутков в потоке стана**

Наиболее эффективным и производительным способом термического упрочнения сортового проката, в частности арматурной стали, с прокатного нагрева является организация упрочняющей термообработки прутков, движущихся со скоростью 15–20 м/с в потоке непрерывного средне- или мелкосортного стана. При этом процесс термического упрочнения будет таким же непрерывным и высокопроизводительным, как и работа самого стана.

В зарубежной литературе данная технология получила аббревиатуру QTB – QTR – QTS и переводится как технологический процесс закалки поверхности и самоотпуска в линии стана.

Технология термического упрочнения движущегося арматурного проката включает три этапа (рис. 4.69):

- закалка в камере с водой после чистовой клетки (рис. 4.70);
- отпуск после закалочной камеры, когда арматура подвергается воздействию воздуха;
- конечное охлаждение на холодильнике, рольганге или конвейере на шагающих балках (в зависимости от типа проката).

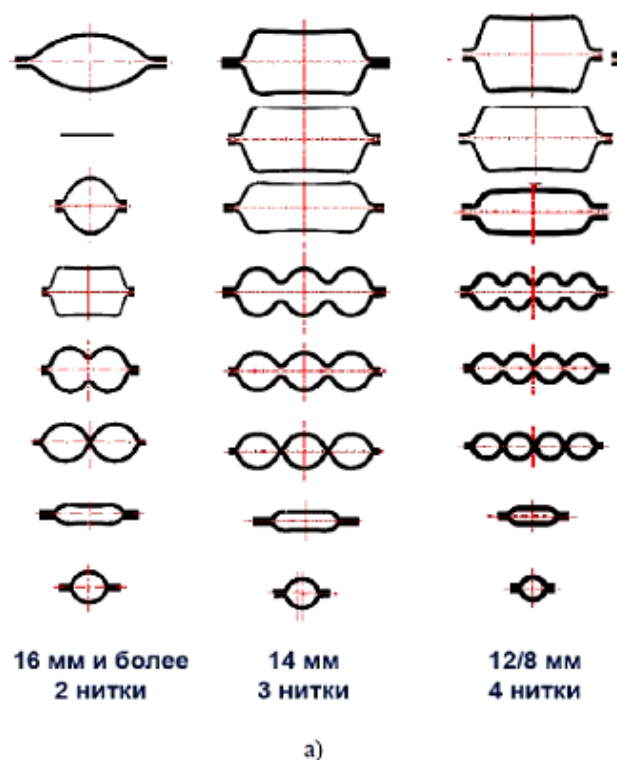


Рис. 4.66. Схема многониточной прокатки (а) и внешний вид клетки, прокатывающей в четыре нитки (б)

При этом потребность в микролегированной или низколегированной стали отпадает.

Низколегированная сталь всего лишь одного химического состава:

- углерод            0,18-0,14 %;
- марганец        0,60-0,80 %;
- кремний            0,15-0,30 % -

применяется для производства широкого диапазона уровней временного сопротивления арматурной стали периодического профиля, соответствующей требованиям международных стандартов. Это дает экономию затрат, по сравнению с микролегированной или низколегированной сталью, ~ 18 % и 8 % соответственно.

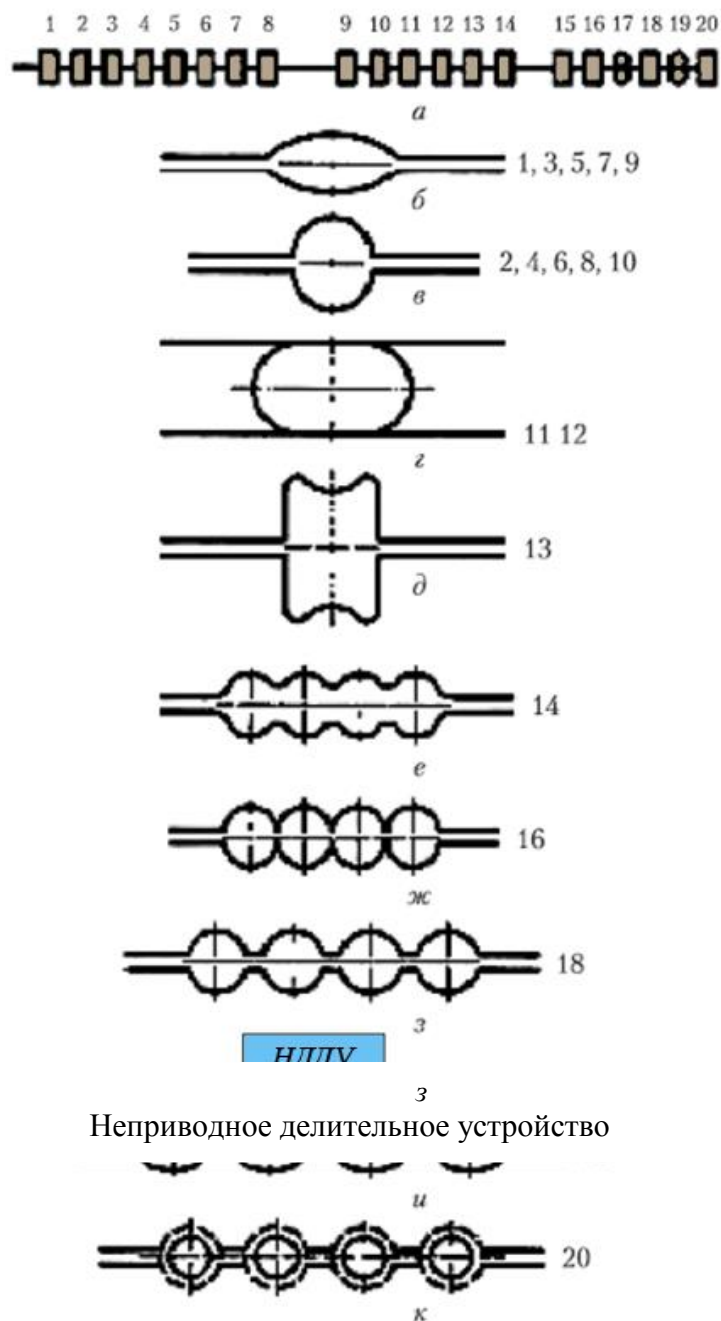


Рис. 4.67. Схема линии стана (а) и калибров валков (б-к) при реализации четырехручьевой прокатки-разделения арматуры № 10 (1-8 – черновая непрерывная группа, 9-14 – промежуточная непрерывная группа, 15-20 – чистовая непрерывная группа)

Для осуществления такого процесса необходимо выполнить следующие основные требования:

1. Термическое упрочнение движущихся прутков необходимо начинать через 0,1-5,0 с после выхода их из последней клетки стана, т.е. не позднее, чем завершится период возврата и первичной рекристаллизации деформированного аустенита. В этом случае в большей или меньшей мере может быть использован эффект ВТМО (высокотемпературный термомеханический обработки) – важный фактор улучшения качества термоупрочненного проката.

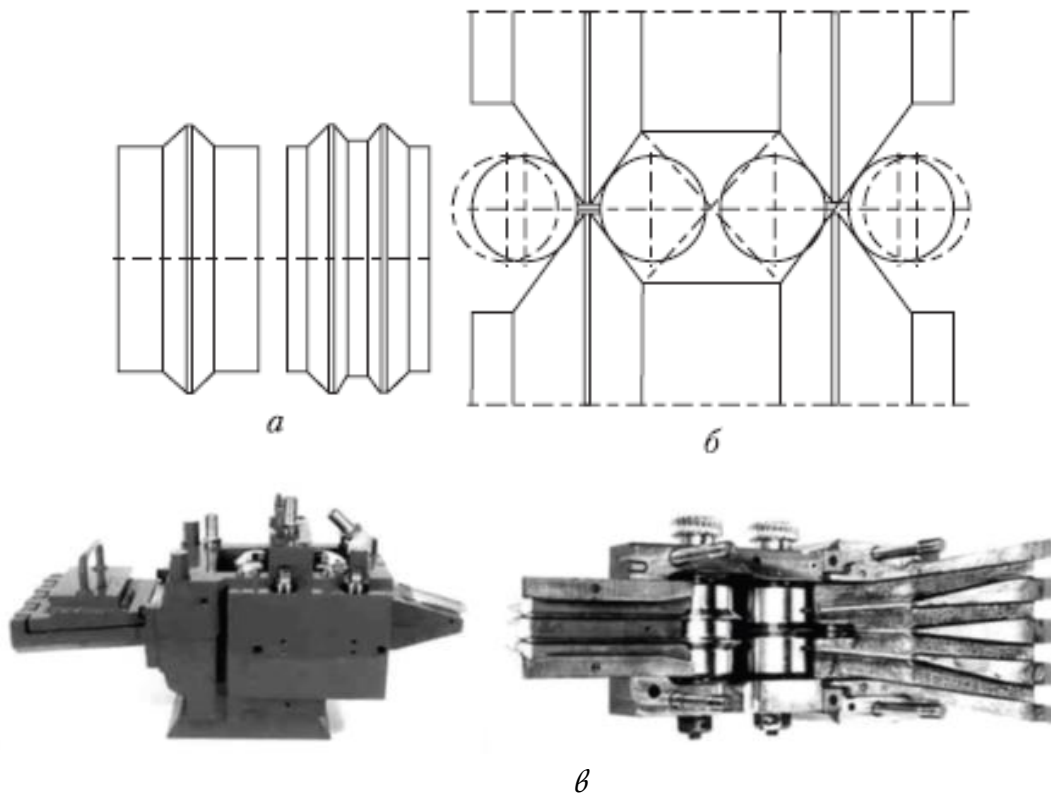


Рис. 4.68. Схема продольного разделения раската в четыре нитки делительным устройством с двумя парами неприводных роликов:  
*a* – делительные ролики; *б* – схема работы делительных роликов; *в* – виды в сборе (слева) и со снятой верхней крышкой (справа) не приводного делительного устройства (НДУ)

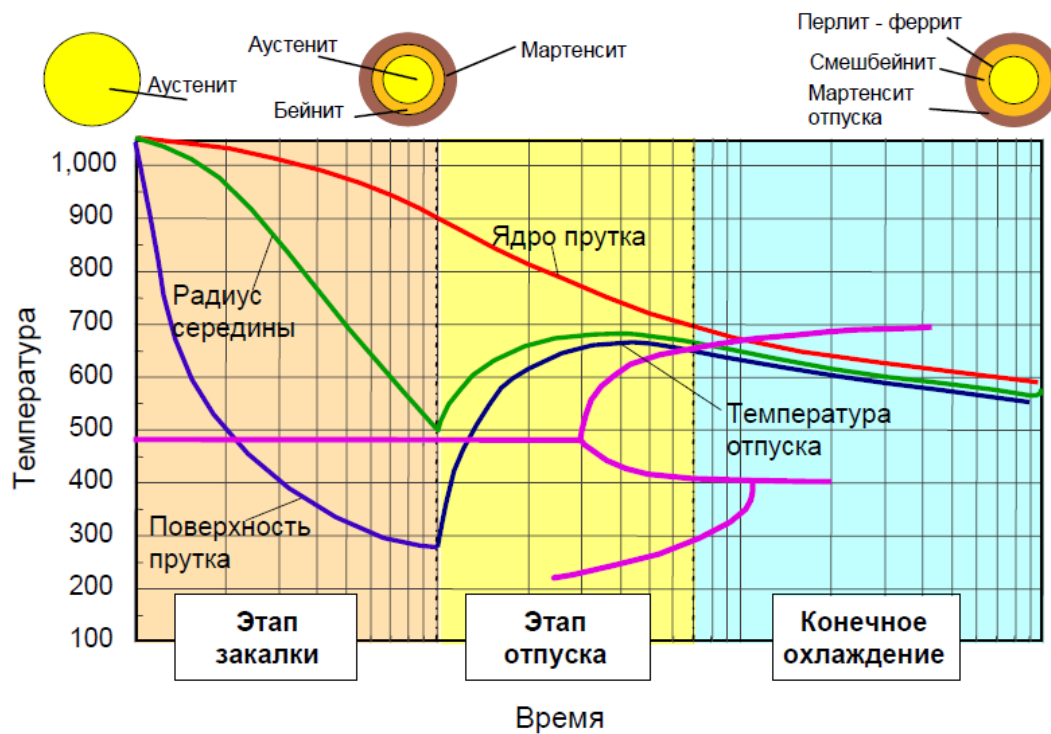
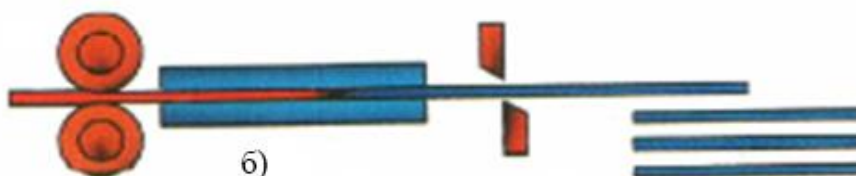


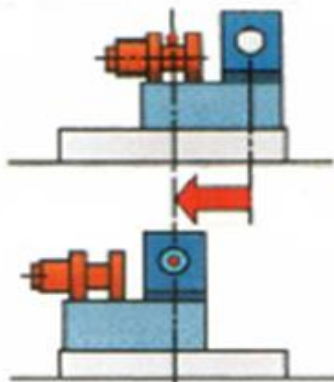
Рис. 4.69. Технология термического упрочнения движущегося в потоке стана арматурного проката



a)



б)



в)

Рис. 4.70. Внешний вид участка термического упрочнения в потоке непрерывного стана (а), схема процесса QTВ (б) и схема замены трасс (установка охлаждения или секции рольганга) транспортировки раскатов (в)

2. Охлаждающее устройство следует располагать на участке между последней чистой клетью и холодильником, что позволяет обеспечивать эффект гидротранспортирования проката со скоростью прокатки без применения тянущих роликов (трайбаппаратов), приводящих, особенно при изготовлении арматуры мелкого сортамента ( $\text{Ø}10\text{--}14\text{ мм}$ ), к «забуриванию» металла и значительному снижению производительности прокатного стана.

3. Охлаждающее оборудование должно обеспечить интенсивное и равномерное охлаждение арматурных прутков до температур, соответствующих протеканию мартенситного или бейнитного превращения на нужную глубину проката (рис. 4.71), и позволять выдавать на холодильник ровный металл, не требующий правки, быть надежным и простым в эксплуатации. В зависимости от конкретных условий на стане охлаждающее оборудование может быть установлено стационарно, либо быть передвижным или съемным и вводиться в технологическую линию прокатки по мере надобности (рис. 4.70).

4. В технологическом процессе термического упрочнения движущихся прутков следует предусмотреть возможность достижения широкого диапазона уровней временного сопротивления термоупрочненной арматурной стали массового применения ( $\sigma_b = 600\text{--}1\ 400$  МПа) без проведения специального отпуска, удорожающего и усложняющего производство.

5. Технология упрочнения движущихся прутков и выбираемые марки стали должны обеспечить возможность использования у потребителя термически упрочненной арматуры немерной длины в качестве свариваемой стали с  $\sigma_b$  не менее 600 МПа.

Термическое упрочнение арматурного проката в потоке стана (процесс QTВ – QTR – QTS) позволяет, таким образом, изготавливать арматурную сталь периодического профиля для армирования железобетонных конструкций (в виде пруткового проката, катанки или сортового проката в бунтах) с очень хорошими механическими свойствами и хорошей свариваемостью, высокой пластичностью и повышенной однородностью, с использованием низкоуглеродистой стали в качестве исходного материала со значительной экономией производственных затрат.

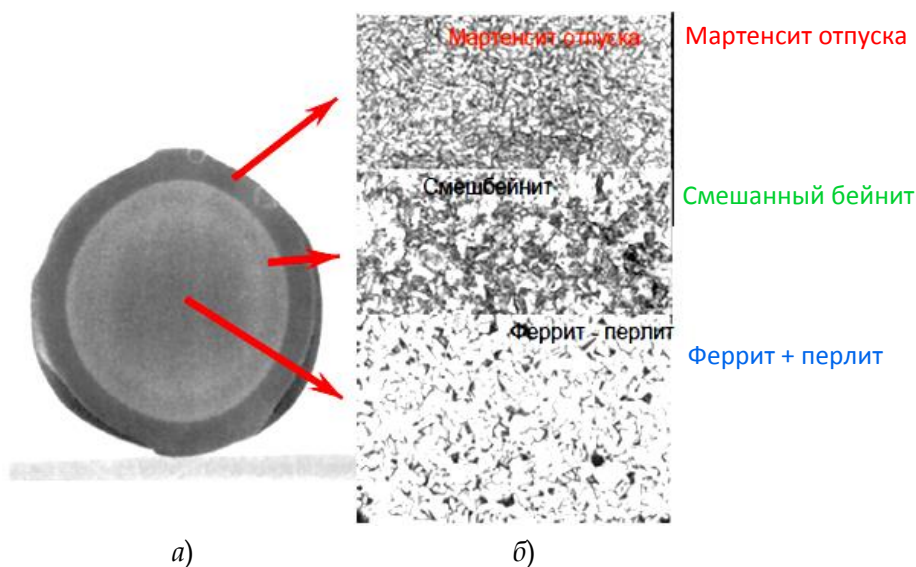


Рис. 4.71. Макро- (а) и микроструктура (б) металла по сечению термически упрочненного арматурного проката

#### 4.5. Производство проката на комбинированных станах

##### 4.5.1. Характеристика мелкосортно-проволочных станов

Появление мелкосортно-проволочных станов обусловлено стремлением расширить сортамент проката. В современных экономических условиях целесообразно использовать прокатные станы с широким сортаментом продукции и высокой производительностью, что обеспечивает хорошую приспособляемость к постоянно изменяющимся требованиям рынка металлопроката. В таких условиях становится актуальным применение многониточных мелкосортно-проволочных станов. В связи с этим наметилась



тенденция реконструкции действующих станов с увеличением числа ниток в черновых и промежуточных группах клетей. В частности, на комбинированном мелкосортно-проволочном стане 250 Молдавского металлургического завода однониточную черновую группу клетей реконструировали в двухниточную с целью одновременной прокатки мелкосортной стали и катанки. Применение многониточной прокатки приводит к понижению точности прокатываемых профилей, однако коренная реконструкция сорто-прокатного производства в ОАО «ММК» (г. Магнитогорск, Россия) с введением в строй в мае 2006 года мелкосортно-проволочной стана «170», включающего в своем составе высокопроизводительных, полностью автоматизированных агрегатов итальянской компании Danieli, обеспечивает получение продукции с высокими потребительскими свойствами. Основное технологическое оборудование мелкосортно-проволочного стана «170», включающего 23 прокатные клетки плюс два высокоскоростных проволочных блока, имеющих еще по десять чистовых клетей, отвечает последним достижениям мирового машиностроения, обеспечивает ведение технологического процесса с минимальным обслуживающим персоналом, позволяет производить низкую по себестоимости продукцию мирового качества и успешно конкурировать на мировом рынке металлургической продукции. Одной из особенностей стана «170» является двухниточное производство, когда в клетях стана одновременно находятся две заготовки и достигается максимальная скорость прокатки – до 100 м/с. Мелкосортно-проволочный стан «170» мощностью до 765 тыс. т в год предназначен для производства катанки Ø6–22 мм, и арматурной фасонной катанки Ø6–8–10–12–16 мм в бунтах весом до 2 050 кг.

Вместе с тем, наибольшее распространение мелкосортно-проволочные станы получили на мини-заводах. Богатый практический опыт в проектировании, поставке и освоении сортовых и проволочных станов как на российских заводах, так и во многих странах мира имеет ОАО «ЭЗТМ». При этом важное значение принадлежит практическому опыту эксплуатации однониточных непрерывных мелкосортно-проволочных станов, одним из которых является введенный в эксплуатацию в январе 1977 года стан 250/160-6 ПАО «АрселорМиттал Криворожсталь» (Украина), использующий заготовки сечением 150x150x12 000 мм (вес 2 065 кг). Фактический сортамент сортовой и проволочной линий непрерывного мелкосортно-проволочного стана 250/150-6 представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12

**Фактический сортамент мелкосортно-проволочного стана 250/150-6**

Вид проката	Размеры профилей, мм	
	Сортовая линия	Проволочная линия
Круглый профиль	Ø14-36	Ø10,0-12,0
Квадратный профиль	14-36	-
Шестигранный профиль с диаметром описанного круга	14-40	-
Арматурный профиль	№ 12-16	№ 5,5-12
Катанка	-	Ø5,5-9,0

#### 4.5.2. Однониточный непрерывный мелкосортно-проволочный стан 250/160-6 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь»

Мелкосортно-проволочный стан 250/150-6 предназначен для производства проката в мотках из углеродистых и легированных сталей (рис. 4.72).



а)

б)

Рис. 4.72. Вид мотков готового проката:  
а – гладкий круг, катанка; б – арматурный прокат

Готовая продукция сортовой линии непрерывного мелкосортно-проволочного стана 250/150-6 (рис. 4.72) выпускается в мотках размерами: внутренний диаметр – 900 мм, наружный диаметр – 1 400 мм, высота – около 850 мм, масса мотка – 2 000 кг. Готовая продукция проволочной линии 150 из заготовки сечением 150×150 мм и 125×125 мм выпускается в мотках размерами: внутренний диаметр – 850 мм, наружный диаметр – 1 250 мм, высота мотков в подпрессованном состоянии – 1 750 мм, масса мотка – 2 100 кг.

Сортовая линия (рис. 4.73) состоит из 10 горизонтальных и 10 вертикальных клеток дуо, разделенных на 3 группы: черновая (8 клеток), промежуточная (6 клеток), чистовая (6 клеток). После каждой группы клеток расположены ножницы (поз. 9, 11, 14, 17), которые предназначены для отрезания переднего и заднего конца раската, а в аварийных ситуациях – его крошения. За ножницами 17 расположен трайбаппарат 21, предназначенный для транспортировки раската от 20-й клетки к намоточным машинам (моталкам), а также для создания натяжения во время смотки бунта.

Сортовая линия снабжена установками ускоренного охлаждения проката с тремя сортовыми моталками и механизированной линией транспортировки, увязки и уборки готовой продукции. Основной задачей привода моталки является смотка прокатного металла в бунт при постоянном напряжении.

Максимальная скорость прокатки сортовой линии – 20 м/с.

Проволочная линия (рис. 4.74) является продолжением сортовой линии.

Часть оборудования проволочной линии (универсальные ножницы, петлерегулятор, чистовой блок, укладчик витков) смонтирована на рабочей площадке с отметкой +5 675 мм, а остальное (транспортер и накопитель витков и др.) – на отметке 4 770 мм. Проволочная линия снабжена установкой регулируемого двухстадийного охлаждения проката. Максимальная скорость прокатки катанки – 100 м/с.

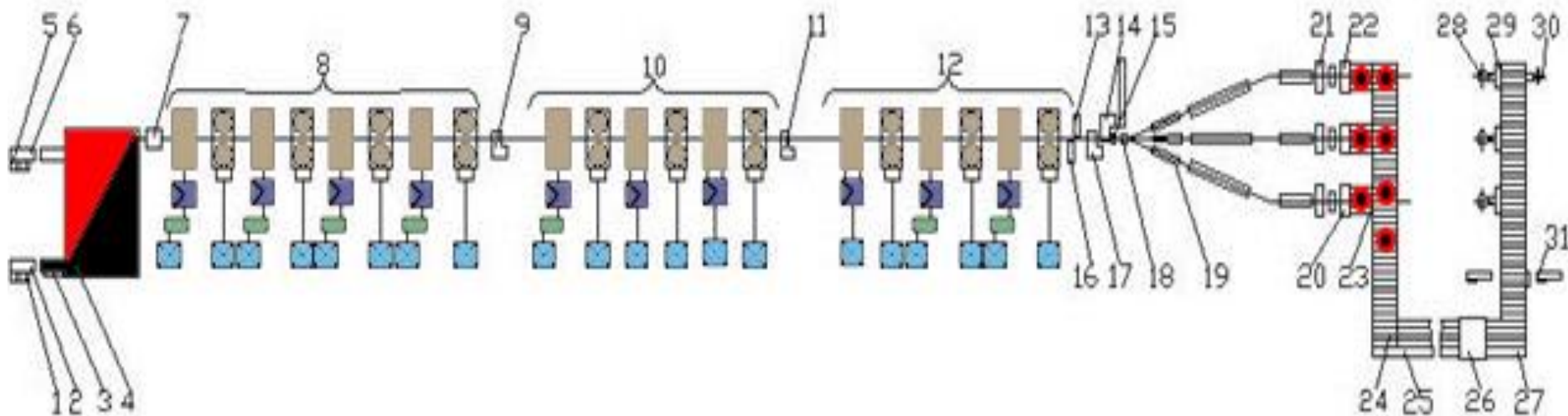


Рис. 4.73. Расположение оборудования сортовой линии непрерывного мелкосортно-проволочного стана 250/150-6:

- 1 – загрузочный шлепшер; 2 – подводящий рольганг; 3 – весы; 4 – нагревательная печь; 5 – стеллаж бракованных заготовок; 6 – возвратный рольганг; 7 – аварийные ножницы; 8 – черновая группа клетей; 9 – эксцентриковые ножницы; 10 – промежуточная группа клетей; 11 – кривошипные ножницы; 12 – чистовая группа клетей; 13 – приборы контроля геометрических размеров; 14 – летучие ножницы; 15 – карман; 16 – приборы контроля качества раскатов; 17 – летучие ножницы; 18 – охлаждающие секции; 19 – установки для ускоренного охлаждения проката; 20 – моталки; 21 – трайбаппарат; 22 – вязальные машины; 23 – шагающий транспортер; 24 – поперечный рольганг; 25 – транспортер с шагающими колосниками; 26 – душирующие устройства; 27 – рольганг; 28 – пакетирующие устройства; 29 – приемные тележки; 30 – накопитель; 31 – линии разделки мотков

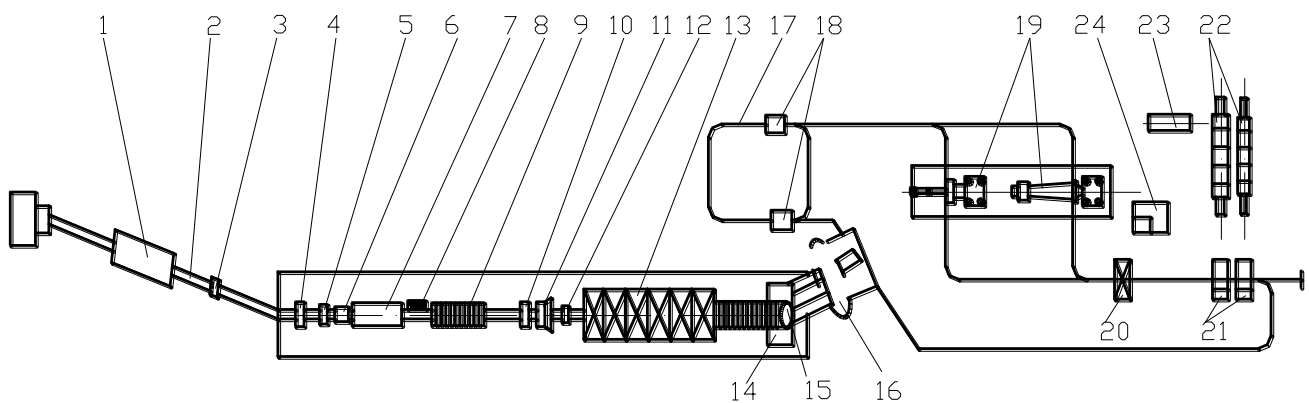


Рис. 4.74. Расположение оборудования проволочной линии 150 непрерывного мелкосортного-проволочного стана 250/150-6:

- 1 – участок промежуточного водяного охлаждения; 2 – подводящая проводка к чистовому блоку; 3 – трайбаппарат; 4 – универсальные ножницы; 5 – петлерегулятор; 6 – удерживающие ножницы; 7 – чистовой блок; 8 – приборы для контроля качества; 9 – отводящая проводка с водяным охлаждением; 10 – трайбаппарат для катанки; 11 – укладчик витков; 12 – транспортер витков; 13 – вентиляционная установка; 14 – накопитель витков; 15 – центрирующее устройство; 16 – поворотный круг; 17 – крюковой конвейер; 18 – инспекционный участок; 19 – устройство для подпрессовки и увязки мотков; 20 – весы для мотков; 21 – разгрузочная тележка; 22 – шаговый транспортер; 23 – линия для изготовления заготовок бирок; 24 – чеканочный механизм с дистанционным управлением

### *Технологический процесс производства проката на сортовой линии*

Исходной заготовкой служит квадратный профиль с номинальным сечением 150×150 или 125×125 мм и длиной 8–12 м.

Подготовленные для прокатки заготовки поплавно, в соответствии с заказами, укладываются на загрузочный шлеппер, откуда при помощи переключивающих устройств поштучно передаются на подводящий рольганг. Выявленные бракованные заготовки с подводящего рольганга толкателем удаляются на разгрузочный стеллаж склада заготовок.

Нагрев заготовок осуществляется в печи с шагающим подом до установленной температуры, в зависимости от марки стали, согласно режимам, разработанным теплотехнической лабораторией для сортамента сортовой линии 250. Нагретые заготовки выдаются с печи с помощью внутripечного рольганга. Искривленные, остывшие или недостаточно нагретые заготовки по возвратному рольгангу подаются на загрузочный стеллаж заготовок.

Окалина с поверхности заготовок удаляется при помощи специальных устройств, использующих водо-воздушную смесь.

Прокатка в черновой, промежуточной и чистовой группах клетей стана ведется в одну нитку в чередующихся горизонтальных и вертикальных клетях без кантовки полосы. Число проходов зависит от прокатываемого профиля. Перед черновой

и промежуточной группой клетей производится обрезка переднего и заднего концов раската на расстоянии 50–300 мм. Обрезка концов осуществляется на летучих ножницах, которые также могут производить аварийный порез раската на габаритные длины. В черновой группе стана прокатка ведется с небольшим натяжением, чем достигается точность геометрических размеров профиля по всей длине полосы. В промежуточной и чистовой группах клетей прокатка, благодаря автоматической системе регулирования прогиба раската (АСРП), ведется без натяжения.

Прокатанные полосы с помощью переводных стрелок и трайбаппарата подаются в установку ускоренного охлаждения проката (рис. 4.75), где охлаждаются водой высокого давления (для уменьшения окалинообразования и обеспечения необходимой структуры металла). Характеристика линий ускоренного охлаждения приведена в табл. 4.13. Замер температуры прокатываемого металла осуществляется радиационными пирометрами, установленными за 1-й клетью стана и на участке моталок. Температура раската после 1-й клетки составляет 1 090–1 130 °С при разнице температур по длине заготовки не более 50 °С.

Таблица 4.13

**Характеристика линий ускоренного охлаждения  
мелкосортного-проволочного стана 250/150-6**

	I блок	II блок	III блок	IV блок
Длина блока, м	4,2	6,8	6,8	6,8
Расстояние между блоками, м	5,7 <sup>1)</sup>	5,7	5,7	5,7
Расстояние от начала блока до начала первой камеры охлаждения, м	1,1			
Внутренний диаметр камеры охлаждения, мм	45(60×7,5)			
Длина камеры (камер) охлаждения, м	1,50	1,5 + 2,56		1,50
Внутренний диаметр распределительной камеры, м	58(68×5)			
Длина распределительной камеры, м	0,875			
Длина зоны активного охлаждения, м	2,4	4,9		2,4

Примечание: <sup>1)</sup> расстояние между I и II блоками IV нитки – 3,92 м.

После охлаждения прокат поступает в одну из трех намоточных машин (моталок), где сматывается в моток. В моталках смотка производится с натяжением, чем достигается плотность мотка. С моталок мотки рольгангом передают на транспортер с шагающими балками, где металл по мере транспортировки охлаждается на воздухе и увязывается вручную. С транспортеров с шагающими балками мотки поступают на рольганг № 2 для транспортировки к вязальным машинам. После увязки мотки по рольгангу транспортируются к уборочным устройствам (рис. 4.76). Мотки опрокидывающим устройством снимаются с рольганга и подаются на крестообразный накопитель мотков, с которого мостовым краном, оборудованным С-образной скобой, передаются на склад готовой продукции или непосредственно в железнодорожные вагоны.

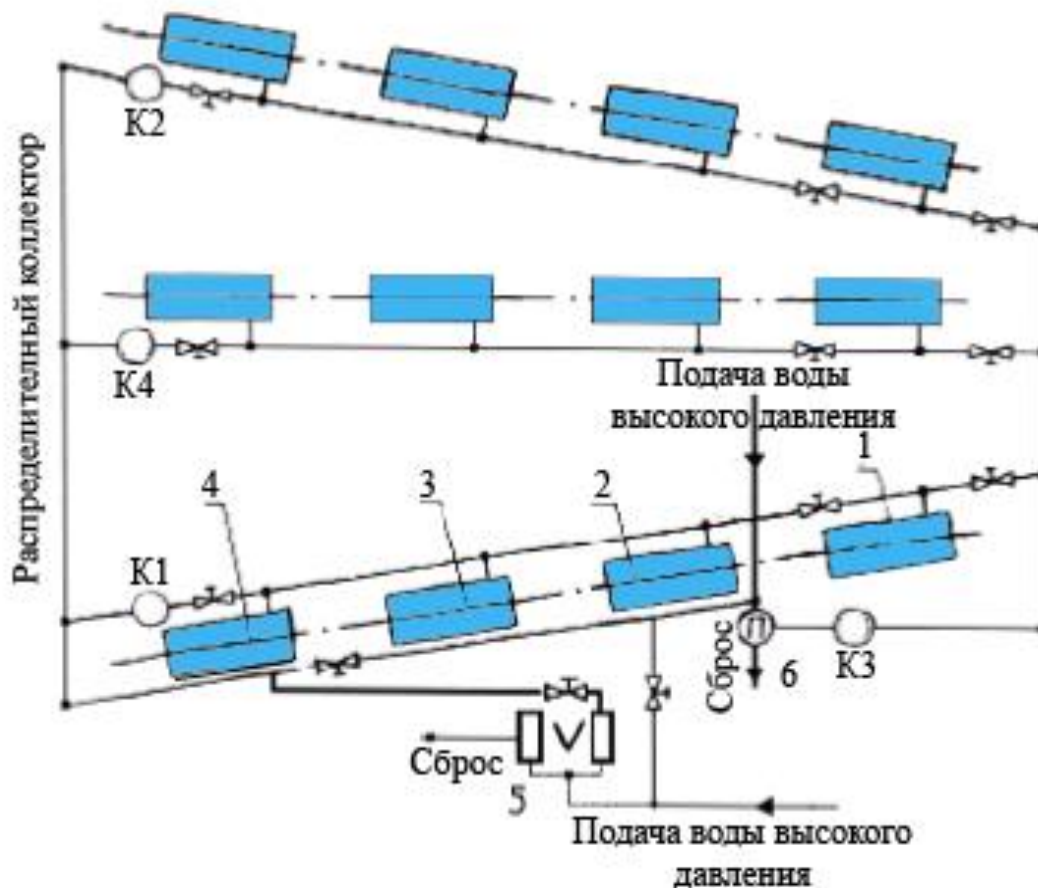


Рис. 4.75. Участок ускоренного сортового проката мелкосортного проволочного стана 250/150-6 (схема подачи и сброса воды):

- 1, 2, 3, 4 - номера секций охлаждения на первой линии охлаждения;  
 5 - многоходовой клапан; 6 - двухходовой клапан; K1 - K4 - клапаны

### *Технологический процесс производства проката на линии катанки*

При производстве катанки в качестве подката для 10-клетового чистового проволочного блока используется прокат круглого сечения, получаемый на действующей 20-клетовой сортовой линии 250 (таблица 4.14).



Рис. 4.76. Транспортировка увязанных мотков к уборочным устройствам

Температура исходного профиля подката в момент выхода из последней клетки сортовой группы должна составлять 1 050–1 100 °С.

Допустимые отклонения по геометрическим размерам профиля за последней рабочей клетью, из которой берется подкат, должна составлять  $\pm 0,2$  мм.

Таблица 4.14

**Размеры исходного подката для чистового проволочного блока  
непрерывного мелкосортно-проволочного стана 250/150-6**

Диаметр катанки, мм	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10-12
Диаметр подката, мм	13,5	14,4	16,0	16,8	16,5	18,3	16,8

Между последней чистовой клетью сортовой группы стана и чистовым блоком проволочной линии расположен участок промежуточного водяного охлаждения, предназначенный, в случае необходимости, для понижения температуры прокатываемого металла перед входом в блок до необходимой.

Передний и задний конец раската зачищают на универсальных ножницах и задаются в блок через автоматический горизонтальный петлерегулятор, поддерживающий постоянную петлю перед блоком. Перед первой секцией чистового блока установлены удерживающие ножницы, предназначенные для предотвращения скопления недоката в случае аварии в блоке.

Перед универсальными ножницами расположен трайбаппарат для обеспечения стабильной транспортировки подката к чистовому блоку.

В случае неполадок на участке «чистовой блок – виткоукладчик», раскат отсекается удерживающими ножницами блока, подача подката в блок прекращается, а оставшийся раскат делится на габаритные длины универсальными ножницами и убирается в скрап.

Прокатку всех профилей в 10-клетевом чистовом проволочном блоке производят согласно таблиц калибровок и режимов обжатий, разработанных бюро калибровки и утвержденных главным калибровщиком комбината.

В зависимости от прокатываемого профиля, прокатка в 10-клетевом чистовом блоке производится за 4–10 проходов. Максимальная скорость прокатки катанки диаметром 5,5 мм – 100 м/сек.

Прокатка в блоках осуществляется в чередующихся горизонтальных и вертикальных клетях (кассетах) без кантовки раската с небольшим натяжением между клетями.

После прокатки в блоке чистовых клетей прокат проходит участок водяного охлаждения (1 стадия охлаждения). Длина участка водяного охлаждения составляет: максимальная – 27,3 м, минимальная – 2,1 м. В зависимости от программы прокатки участок собирается из различного количества охлаждающих труб, водяных и воздушных форсунок, охлаждающих устройств или желобов. Имеется возможность применять до 10-охлаждающих устройств. За каждой охлаждающей секцией установлены две отсекающие форсунки – водяная и воздушная. Давление охлаждающей воды до 1,2 МПа, а воздуха – до 0,4 МПа.

После участка водяного охлаждения прокат подается в накладчик витков, который укладывает его в виде плоской спирали на движущийся роликовый транспортер. Скорость подачи проката через укладчик витков – до 100 м/сек.

Перед укладчиком витков расположен трайбаппарат для обеспечения стабильной подачи металла в укладываемую трубу. Скорость транспортировки витков проката регулируется по зонам роликового транспортера в диапазоне 0,05–1,2 м/сек. Плотность укладки витков наибольшая – при минимальной скорости транспортера и наименьшая – при его максимальной скорости.

Витки проката, перемещаясь на движущемся транспортере, подвергаются регулируемому воздушному охлаждению (2-я стадия охлаждения) в теплоизолирующем тоннеле с крышками. Расход вентиляторного воздуха регулируется с помощью 8-и вентиляторов, включением их различного количества и изменением частоты вращения их приводов.

Воздушное охлаждение проката может быть реализовано по трем схемам:

- крышки теплоизолирующего тоннеля открыты, и прокат охлаждается с помощью принудительной вентиляции;
- крышки теплоизолирующего тоннеля открыты, прокат охлаждается в спокойном воздухе;
- крышки теплоизолирующего тоннеля закрыты все или частично, плотно уложенные витки проката, с высокой температурой, перемещаются транспортером и замедленно охлаждаются в спокойном воздухе.

Витки проката с транспортера витков поступают в накопительное устройство – виткосборник или собирательную шахту. Витки центрируются регулируемыми направляющими роликами и передними, консольного типа, роликами подающего рольганга так, чтобы они входили в собирательную шахту строго посередине. Сформированный в виткосборнике (накопителе витков) моток с горизонтального дорна поворотного круга принимается на загрузочную тележку, а потом навешивается на крюк системы подвесного цепного транспортера (рис. 4.77), транспортируется к инспекционному участку, на котором проводится его осмотр, обрезка, при необходимости, утолщенных и нетермообработанных концов и отбор проб для испытания.

Инспекционный участок служит одновременно и участком-накопителем: в случае неполадок, на последующем оборудовании можно до 10 минут накапливать мотки (в зависимости от профиля), не прекращая при этом процесс прокатки. Готовый моток подпрессовывается и увязывается катанкой (рис. 4.78а). Замок связки выполняется посредством скручивания катанки в параллельный узел. При дальнейшей транспортировке к одному из двух мест разгрузки мотки проходят весы, встроенные в транспортную систему, на которых регистрируется их масса.

Изготовление бирок (рис. 4.78б) производится на линии для их изготовления, а маркировка – на двух чеканочных устройствах, расположенных в пролете цеха вблизи весов для мотков. На мотки вручную навешиваются по две бирки.





Рис. 4.77. Моток катанки на крюке системы подвешного цепного транспортера

На участке разгрузки мотки при помощи разгрузочной тележки снимаются с крюка конвейерной установки и укладываются на балки шагового транспортера для промежуточного накопления и подачи мотков для их уборки скобой крана. Поднимать мотки или пакеты за увязки запрещается.

Все участки проволочной линии стана увязаны в единый технологический комплекс, а от работы каждого участка зависит слаженная и бесперебойная работа всего стана, качество и количество выпускаемой продукции.

Обрезь от всех ножниц непрерывного мелкосортно-проволочного стана 250/150-6 собирают в установленные в приямках короба. После накопления короба извлекают электромостовыми кранами и разгружают в железнодорожные вагоны. Окалину из-под рабочих клетей и рольгангов смывают водой в отстойники окалины, откуда она извлекается электромостовым и грейферным краном, а далее грузится в железнодорожные вагоны.



а)



б)

Рис. 4.78. Внешний вид увязанного мотка катанки (а) и маркировочных бирок готовой продукции (б)

#### **4.5.3. Однониточный непрерывный сорто-проволочный агрегат 400/200**

**ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Дзержинского»**

ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» (ДМКД) выбрал Danieli в качестве поставщика нового сверхпроизводительного и сверхгибкого сортопрокатного агрегата, который установлен вместо существующего среднесортного стана 350. При годовой производительности 1,2 млн т в год агрегат, на котором реализуются все новейшие технологические разработки Danieli для производства сортового проката из рядовых сталей, станет одним из крупнейших и самых современных станов данного типа в Восточной Европе (рис. 4.79).

Сортамент стана: продукция в прутках – сталь круглая Ø16–65мм, арматурная сталь № 8–40, сталь угловая равнополочная от 25x25 мм до 100x100 мм; швеллерная сталь №№ 5, 6,5, 8, 10 по ГОСТ и № 50, № 60, № 80, № 100 по стандарту DIN. Марочный состав – обычные углеродистые и низкоуглеродистые, а также качественные углеродистые стали. Средний расходный коэффициент металла на прокат (по проекту) составляет 1,02–1,04 т/т.

Товарная продукция на стане 400/200 может производиться только поочередно либо в прутках, либо в бунтах, что ограничивает объемы производства сортовой товарной продукции: 670 тыс. т в год в прутках длиной 6–24 м и 330 тыс. т в год продукции в бунтах массой до 2 300кг.

#### *Состав оборудования*

Нагревательная печь с шагающими балками производительностью 160 т/ч поставки DANIELI CENTRO CUMBUSTION отапливается природным газом.

Окалиноломатель – сварная конструкция с двумя опорными роликами (скорость удаления окалины 1 м/сек, максимальный расход воды – 455 л/мин).

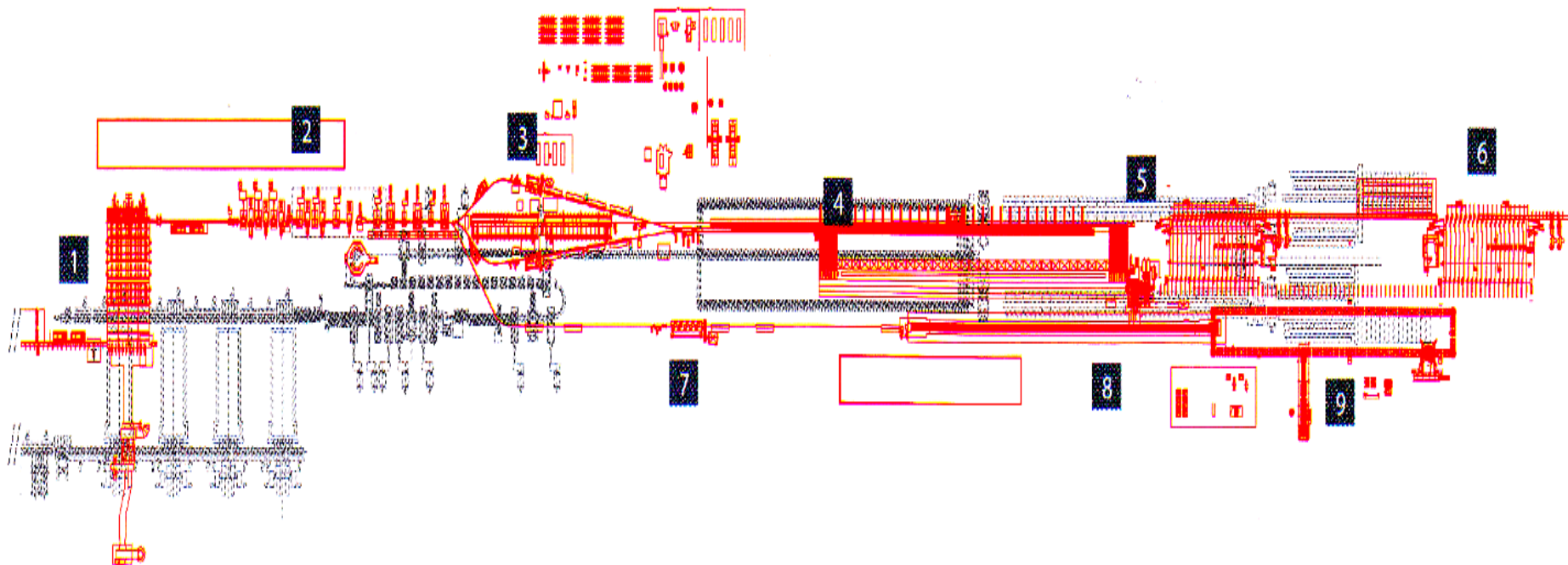
Прокатный стан линии по производству продукции в прутках состоит из 18-и клетей, условно разделённых на черновую, промежуточную и предчистовую группы. Конструкция клетей идентичная.

Черновая группа состоит из шестивалковых клетей SHS (six-high stand) –кассетного типа с двойной опорой (клетки № 1–6) с горизонтальным и вертикальным расположением валков. Диаметры валков – 670–425 мм в клетях №№ 1, 2, 3, 5; 615–365 мм – в клетях № 4 и № 6.

Промежуточная группа состоит из шестивалковых клетей SHS – кассетного типа с двойной опорой (клетки № 7–12) с горизонтальным и вертикальным расположением валков. Диаметры валков – 615–365 мм в клетях № 7–11 и 540–320 мм – в клетки № 12.

Предчистовая группа состоит из шестивалковых клетей SHS – кассетного типа с двойной опорой (клетки № 13–18) с горизонтальным и вертикальным расположением валков. Диаметры валков – 540–320 мм

10-клетевой блок линии по производству катанки – моноблок, состоящий из 10-и клетей, установленных под углом 45°. Диаметр валков 212–191 мм, ширина валка 72 и 60 мм.



▲ - новое оборудование, ▲ - старое оборудование

Рис. 4.79. Схема расположения оборудования агрегата конструкции Danieli:

- 1-6 - линия по производству продукции в прутках: 1 - нагревательная печь с шагающими балками производительностью 160 т/ч;  
 2 - 18-клетьевого стан; 3 - 4-проходные скоростные чистовые блоки; 4 - холодильник с системой спаренных двойных каналов;  
 5 - система непрерывной правки и резки на мерные длины; 6 - участок автоматизированной отделки сортовых заготовок/профилей;  
 7-9 - линия по производству катанки: 7 - 10-клетьевого скоростной чистовой проволочный блок; 8 - линия контролируемого охлаждения (DSC); 9 - участок автоматизированной отделки катанки

Сдвоенный калибровочный модульный блок (ТМВ) – состоит из двух дельтовидных модульных блоков (рис. 4.80), установленных в линию для производства продукции в прутках один за другим: модульные блоки Н200 и L150 (валки установлены под углом 45°). Модульный блок Н200 – диаметр валков 212–191 мм, ширина валка 83 мм. Модульный блок L150 – диаметр валков 158–144 мм, ширина валка 72 и 60 мм. Блоки механически не связаны один с другим.

#### *Технология производства проката*

Исходная заготовка для стана 400/200: катаная заготовка с трубозаготовочного стана 900/750-3 сечением 160x160 мм и длиной 12 м, перекатанная из непрерывнолитого блома сечением 335x400 мм (МНЛЗ № 2), или непрерывнолитая заготовка с МНЛЗ № 1.

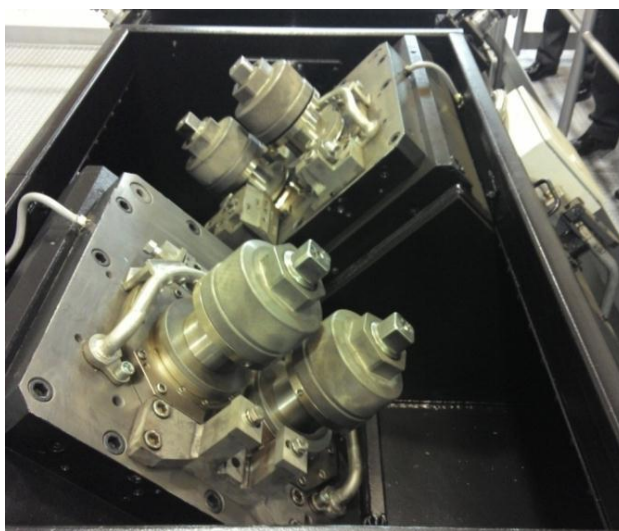


Рис. 4.80. Сдвоенный калибровочный модульный блок ТМВ

Исходные заготовки поштучно передаются к загрузочному устройству нагревательной печи, где они взвешиваются с использованием тензометрической системы. После нагрева заготовки до необходимой температуры она передаётся к устройству для гидросбива окалины, а далее к рабочим клетям (18 штук) прокатного стана. Перед и после черновой группы стана установлены кривошипные ножницы для удаления дефектных концов раската, которые при необходимости могут быть использованы как аварийные. После промежуточной группы клетей установлены летучие ножницы подобного назначения.

Готовую продукцию получают в новом сдвоенном калибровочном модульном блоке ТМВ, расположенном перед виткообразователем. Каждый блок состоит из двух клетей дельтовидной конфигурации (см. рис. 4.80).

В состав скоростной линии катанки входят 10-клетевой чистовой блок «Дельта» (рис. 4.81), секция системы регулируемого охлаждения (DSC), а также виткоукладчик, выдающий бунты массой 2,3 т. Максимальная скорость прокатки катанки – 115 м/с.

Подкат, сформированный в последней клетке предчистовой группы (клеть 18), поступает на участок высокоскоростного 10-клетевого чистового блока. Участок транспортировки оснащен двумя водяными камерами для регулирования температуры подката. На входе в блок установлены трайбаппарат, ножницы и петлеобразователь.

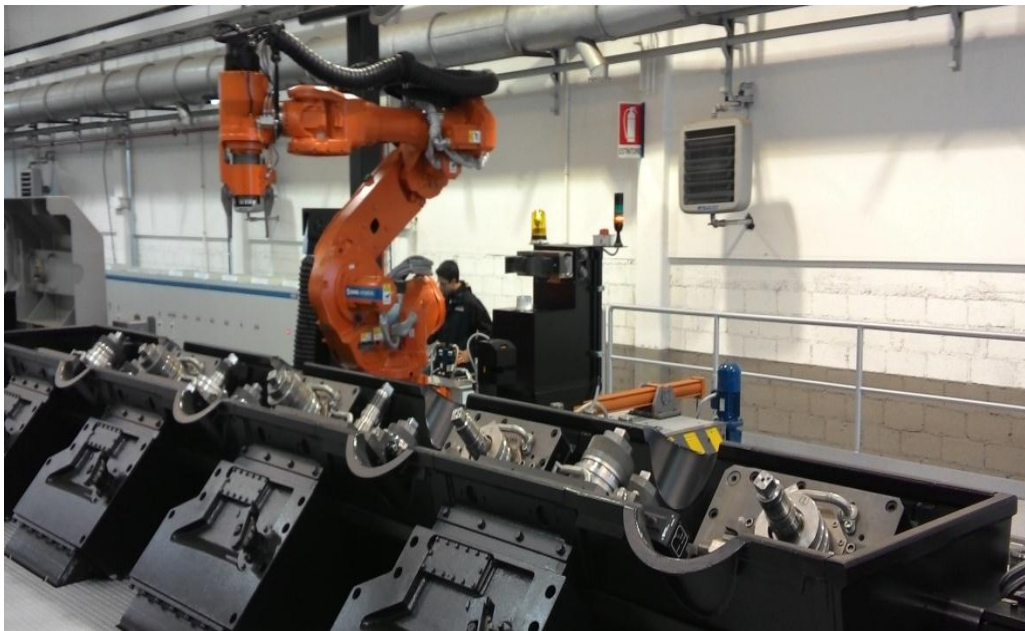


Рис. 4.81. Роботизированная замена валков в чистовом 10-клетевом блоке «Delta»

За 10-клетевым блоком установлены обрезающие высокоскоростные летучие ножницы HSS (рис. 4.82), предназначенные для удаления переднего и заднего концов раската, имеющих недопустимые отклонения по геометрическим размерам.

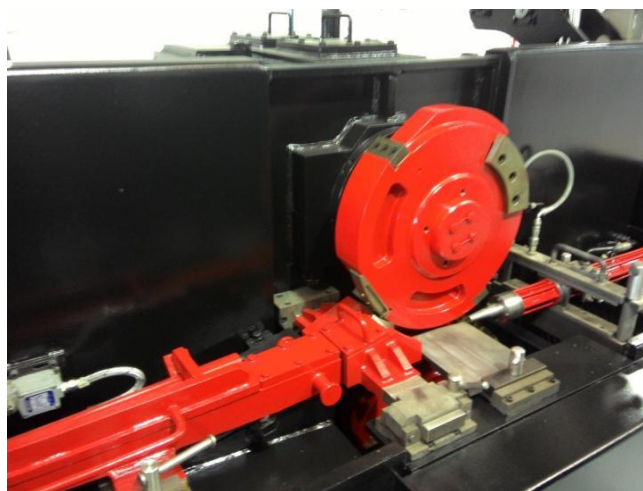


Рис. 4.82. Высокоскоростные летучие ножницы HSS

На стане использована система контролируемого режима формирования структуры катанки DSC, которая реализует комплексную обработку проката в линии стана в автоматическом режиме. В состав линии DSC входят:

- линия водоохлаждения, включающая зоны охлаждения и выравнивания температуры проката, которая работает совместно с камерами предварительного охлаждения, установленными перед 10-клетевым блоком катанки (рис. 4.83);
- виткоукладчик для укладки катанки в витки, обеспечивающий высокую скорость прокатки и высокую точность балансировки (рис. 4.84);
- рольганг-холодильник, на котором осуществляется окончательное охлаждение катанки в витках;
- привод рольганга многосекционного типа с возможностью индивидуальной регулировки скорости передвижения витков, контролируемой по замкнутому циклу с целью предотвращения образования «мест локального перегрева».

На выходе из роликового конвейера витки катанки собираются в виткосборнике для получения бунта упорядоченной формы.



Рис. 4.83. Внешний вид секции регулируемого охлаждения DSC

Конвейер, с козловыми опорами для насадки бунтов, передает бунт на две установки уплотнения и обвязки бунтов в вертикальном положении.

Применяемые машины для уплотнения и обвязки производства SUND BIRSTA имеют боковую подачу. Они формируют плоский узел с регулируемым усилием при уплотнении (макс. 40 т).

Величина усилия при уплотнении задается в зависимости от диаметра катанки. После этого бунт взвешивается и передается на разгрузочно-сборный пост. Далее бунты кранами передаются на склад бунтов.



Рис. 4.84. Внешний вид виткоукладчика катанки конструкции Danieli

На стане 400/200 отсутствуют системы постоянного автоматического измерения размеров прокатываемой полосы и определения веса погонного метра готовой продукции, выпускаемой в прутках. Поэтому для контроля качества выпускаемой продукции необходимо периодически выполнять отбор проб от готовой продукции, который выполняется ручным способом, с последующими замерами мерительным инструментом, что вносит влияние человеческого фактора на уровень выхода годной продукции. Несвоевременное выявление отклонений геометрических размеров готовой проката при высокой часовой производительности стана приведёт к образованию продукции, не соответствующей требованиям контракта, т.е. «беззаказной».

#### *Перспектива развития*

При разработке проекта стана 400/200 была предусмотрена возможность модернизации стана 400/200:

- зарезервировано место под фундаменты для двух клеток № 1 и № 2. С установкой двух дополнительных клеток, перед существующей черновой группой, для производства продукции в прутках возможно использовать исходную заготовку большего сечения и массы. Использование заготовки с большей массой приведёт к снижению расходного коэффициента;

- предусмотрена возможность установки электронных систем, позволяющих в автоматическом режиме контролировать в потоке геометрические размеры и массу погонного метра для 100 % сортового проката (угловая, швеллерная и круглая сталь). Это позволит исключить производство продукции, не соответствующей требованиям стандартов в части геометрических размеров («беззаказной»), и выполнять заказы в узком поле допусков по массе погонного метра;

- предусмотрена организации производства термоупрочнённой арматурной стали в прутках класса прочности А600÷А1000 (в настоящее время А500).

## **4.6. Производство простых профилей на мелкосортных станах**

### **4.6.1. Характеристика профилепрокатных мелкосортных станов**

На станах этого типа прокатывают: прутки круглого сечения  $\varnothing 10-30$  мм; прутки квадратного сечения со стороной 8–30 мм; арматурные профили № 10–28; сталь полосовую толщиной 4–20 мм и шириной 12–70 мм, сталь шестигранную 8–27 мм; сталь угловую равнополочную со стороной полки от 20×20 мм до 40×40 мм и толщиной полок 3–5 мм, сталь угловую неравнополочную 50×32×4 мм, из углеродистых и низколегированных марок стали.

В настоящий момент в Украине эксплуатируют линейные и непрерывные мелкосортные станы (таблица 4.15).

Линейные станы используют, в основном, для производства проката из легированных сталей. Такие станы состоят из нескольких линий: обжимной, черновой и чистовой или только обжимной и чистовой. Обжимная и черновая линия состоит из клетей трио, а чистовая – из клетей дуо. На станах такого типа используют квадратную заготовку со стороной от 60 до 150 мм. Новые станы с таким расположением клетей не строят.

### **4.6.2. Непрерывный мелкосортный стан 250-5**

#### **ПАО «АрселорМитталКриворожсталь»**

Мелкосортный стан 250-5 двухниточный, поставки ГДР. Введен в эксплуатацию в 1966 году. Является однотипным с мелкосортным станом 250-4 по составу, характеристике оборудования и его расположению (рис. 4.85).

Фактический сортамент стана: сталь круглая  $\varnothing 16-30$  мм; сталь квадратная со стороной 16, 20 и 22 мм; сталь шестигранная размерами 17; 19; 22; 24 и 27 мм; сталь для армирования железобетонных конструкций № 16–28.

Прокатываемые стали: обыкновенного качества (ГОСТ: 380-94; 499-70; 924-81; 5781-82), качественные и высококачественные (ГОСТ: 1050-88; 1414-75; 10702-78; 4543-88; 14959-79).

Исходные заготовки квадратного сечения со стороной 80 мм и длиной 11,2–11,8 м, допустимых предельных длин 10,5–12,1 м, массой до 600 кг, поставляются с непрерывно-заготовочного стана 900/700/500 № 2 или 730/500 № 1 комбината.

#### *Нагрев заготовок*

В нагревательную печь заготовки с подводящего рольганга подают втаскивающим устройством. Скорость втаскивания заготовок 1,57 м/с. Прижимное усилие нажимного ролика 10 кН.

Нагревают заготовки в двух двухзонных методических печах с монолитным (рис. 4.86) наклонным подом, боковыми посадкой и выдачей заготовок. Размеры пода печи: ширина 12,64 м, активная длина 15,2 м. Площадь активного пода 183 м<sup>2</sup>. Топливо – природный газ теплотой сгорания 36,5 МДж/м<sup>3</sup>. Воздух подогревают до 300 °С в металлическом трубчатом рекуператоре. Производительность печи 110 т/ч. Максимальная температура 1 350 °С, температура у окна посадки заготовок 900–1 000 °С. Температурный режим нагрева заготовок по зонам печи, в зависимости от производительности ее и группы сталей, приведен в таблице 4.16. Заготовки в печи нагреваются до 1 180–1 200 °С.



Таблица 4.15

## Мелкосортные прокатные станы, действующие в Украине (на 1 января 2014 года)

Стан	Предприятие	Год постройки	Тип стана	Сечение заготовки, мм	Основной сортамент готовой продукции	Скорость прокатки max, м/с	Кол-во клетей
250	ПАО «Донецкий металлургический завод»	1910	линейный	115×115- 140×140	Сталь полосовая сечением 20-45×5-14; сталь круглая Ø12-20 мм; сталь квадратная со стороной 16 мм; сталь шестигранная 14-19 мм	4,9	8
280	ПАО «Днепроспецсталь»	1953	линейный	85×85- 110×110	Сталь круглая Ø8-22 мм; сталь квадратная со стороной 8-18 мм	8	10
250-1	ПАО «АрселорМитталКривожсталь»	1956	непрерывный	80×80	Сталь круглая Ø8-30 мм; сталь квадратная со стороной 8-27 мм; арматура № 10-28; сталь угловая равнополочная 25×25-40×40 мм; сталь полосовая 12-70×4-10 мм	17	23
250-2	ПАО «АрселорМитталКривожсталь»	1959	непрерывный	80×80	Сталь полосовая 4-10×40-56 мм; сталь угловая равнополочная № 25×25×3-40×40×5; сталь угловая неравнополочная 50×32×4 мм	17	23
250-3	ПАО «АрселорМитталКривожсталь»	1961	непрерывный	80×80	Сталь круглая Ø12-14 мм; арматура № 12-14	13	23
250-4	ПАО «АрселорМитталКривожсталь»	1966	непрерывный	80×80	Сталь круглая Ø8-30 мм; сталь квадратная со стороной 8-27 мм; арматура № 10-28; сталь полосовая 12-70×4-20 мм; сталь шестигранная 8-27 мм; сталь угловая равнополочная 20×20-40×40 мм	17	23
250-5	ПАО «АрселорМитталКривожсталь»	1966	непрерывный	80×80	Сталь круглая Ø16-30 мм; сталь квадратная со стороной 16-22 мм; арматура № 16-28; сталь шестигранная 17-27 мм	17	23

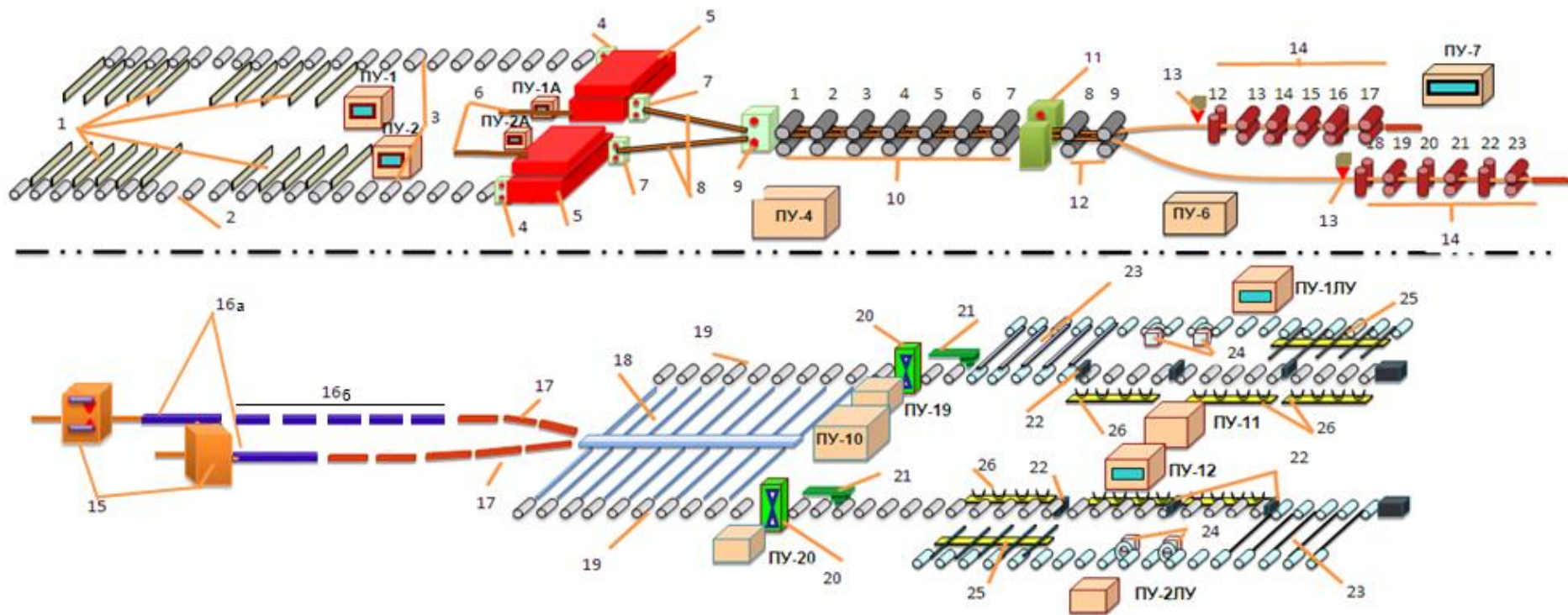


Рис. 4.85. Схема расположения оборудования мелкосортного стана 250-5:

- 1 – загрузочные шлепперы; 2 – подводящий рольганг; 3 – рольганговые весы; 4 – втаскивающее устройство; 5 – нагревательная печь с монолитным подом; 6 – выталкивающее устройство; 7 – вытаскивающее устройство; 8 – соединительный рольганг; 9 – трайбаппарат; 10 – черновая группа клеток; 11 – ножницы для обрезки концов; 12 – промежуточная группа клеток; 13 – аварийные ножницы; 14 – левая и правая чистовые группы клеток; 15 – двухбарабанные летучие ножницы; 16а – блок предварительного охлаждения; 16б – основная охлаждающая трасса (в составе 5-и охлаждающих устройств); 17 – рольганг за термоустановкой; 18 – холодильник; 19 – отводящий рольганг; 20 – ножницы холодной резки; 21 – передвижной упор; 22 – поворотный упор; 23 – накопитель прутков; 24 – обвязочный стол; 25 – разгрузочный конвейер; 26 – весы с карманами

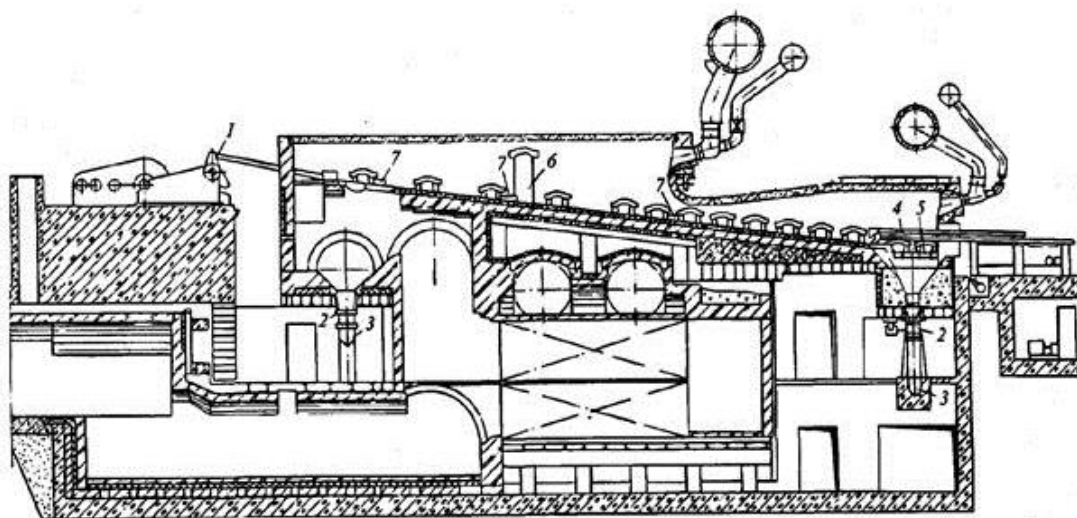


Рис. 4.86. Методическая толкательная нагревательная печь с монолитным наклонным подом, отапливаемая с помощью дутьевых горелок:

- 1 - толкатель; 2 - летка для уборки окалины; 3 - желоб гидросмыва окалины;  
4 и 5 - машина и рольганг выдачи; 6 - ложное окно; 7 - отбойник

Заготовки вдоль печи проталкивают толкателем кривошипно-рычажного типа. Скорость перемещения заготовок 0,16 м/с.

Таблица 4.16.

**Режим нагрева в томильной (числитель) и сварочной (знаменатель) зонах печи стана 250-5**

Часовая производительность, т (шт.)	Температура, °С, нагрева сталей групп:			
	I (Ст0-Ст4; 10-35, 08кп-20кп, 35ГС)	II (Ст5-Ст6, Ст5Гпс, 40-55, 35-селект, ОСТ-1, ОСТ-2)	III (ОСТ-3)	IV (60-80, 25Г2С, 80С)
132(240)	1 340/1 210	1 320/1 200	1 310/1 190	1 300/1 190
121(220)	1 330/1 200	13 10/1 190	1 300/1 180	1 290/1 180
110(200)	1 320/1 190	13 00/1 190	1 290/1 170	1 280/1 170
99(180)	1 310/1 180	12 90/1 170	1 280/1 160	1 270/1 160
88(160)	1 300/1 170	12 80/1 160	1 270/1 150	1 260/1 150
77(140)	1 280/1 160	12 70/1 150	1 260/1 140	1 250/1 140
66(120)	1 260/1 150	12 50/1 140	1 250/1 130	1 240/1 130
55(100)	1 240/1 140	12 40/1 130	1 230/1 120	1 230/1 120
44(80)	1 220/1 120	12 10/1 110	1 210/1 100	1 200/1 100
33(60)	1 200/1 100	11 90/1 090	1 190/1 080	1 180/1 080

Примечание: температура раската после клетки 1 по группам сталей: 1 180-1 160 °С (I); 1 160-1 140 °С (II); 1 140-1 120 °С (III-IV).

Выдают нагретые заготовки из печи выталкивающим устройством штангового типа. Каждую печь обслуживают два вытаскивающих устройства, состоящие из приводного и холостого роликов и прижимного пневматического цилиндра. Скорость роликов 0,5 м/с. Прижимное усилие верхнего ролика 1,2 кН.

### *Оборудование стана и технологический процесс прокатки*

Стан состоит из 21-ой рабочей клетки и включает 4-е непрерывные группы: черновую (семь горизонтальных клеток 1Г-7Г), промежуточную (две горизонтальные клетки 8Г,9Г) и две чистовые (чередующиеся вертикальные 12В, 14В, 16В и горизонтальные 13Г, 15Г, 17Г). Привод клеток индивидуальный. Станины всех горизонтальных клеток – закрытого типа. На всех клетях используется пружинное уравновешивающее устройство верхнего валка. Размеры рабочих валков и характеристика линии привода валков приведены в таблице 4.17.

Материал рабочих валков – чугуны исполнения СШХН-50 (клетки 1Г-9Г); СПХН-51, 59, 65 – горизонтальные (клетки 12, 15-17), СПХН-59 (вертикальные 12В, 14В, 16В). Подшипники валков – жидкостного трения.

Максимальный просвет (мм) между валками: 80 (клетки 1Г-9Г), 40 (клетки 12В; 14В; 16В). Путь регулировки верхнего/нижнего валков, мм: 75/60 (клетки 1Г-9Г), 25/30 (клетки 13Г; 15Г; 17Г). Осевое перемещение валков во всех клетях  $\pm 10$  мм. Перемещение клетки в рабочее положение от оси прокатного стана, мм:  $\pm 300$  (клетки 1Г-9Г);  $\pm 240$  (клетки 13Г; 15Г; 17Г); +235 и -215 (клетки 12В; 14В; 16В). Перевалку горизонтальных клеток ведут клетями (путь выдвигания от оси стана 600 мм в перевалочное приспособление для клеток 1Г-9Г и 200 мм для клеток 13Г, 15Г, 17Г), вертикальных клеток – кассетами (путь выдвигания 1 800 мм). Скорость перемещения клеток 4,17 мм/с. Продолжительность перевалки клеток чистовой группы 20 мин.

Калибровка валков черновой, промежуточной и чистовой групп стана принципиально не отличается от калибровки мелкосортного стана 250-1 для прокатки профилей  $\varnothing 14-23$  мм: профили  $\varnothing 14-17$  мм прокатывают в 15 клетях,  $\varnothing 18-21$  – в 13 клетях,  $\varnothing 22-23$  мм – в 11 клетях.

Технологический процесс прокатки профилей на стане включает несколько этапов. Заготовки, выданные из каждой печи, транспортируют только со своей стороны стана по соединительному рольгангу со скоростью транспортировки 2,22 м/с к трайбаппарату для подачи заготовок через направляющие желоба к клетке 1Г стана (рис. 4.87). По характеристике и конструкции трайбаппарат идентичен вытаскивающему устройству.

Прокатку в черновой и промежуточной группах ведут в две нитки (рис. 4.88): в одной – круглую сталь, в другой – арматурную с незначительным ( $\leq 1$  %) натяжением. Для круглой стали величина натяжения, определяемая разностью частот вращения валков соседних клеток, в последней клетке при прокатке средней и передней (задней) частей раската не должна превышать 0,5 %. В чистовых группах прокатку ведут в одну нитку с минимально возможным натяжением (рис. 4.89). Между клетями чистовой группы установлены петлерегуляторы.

После черновой группы клеток установлены на каждой нитке летучие ножницы для обрезки передних концов и аварийной порезки раската усилием резания 0,18 МН. Максимальное разрезаемое сечение 3 000 мм<sup>2</sup> при температуре раската  $\geq 1 000$  °С. Скорость прокатки при резании  $\leq 4,5$  м/с.

Таблица 4.17

**Параметры линии привода клетей стана 250-5**

Клеть	$D_B$ , мм	$L_B$ , мм	$D_i^{ш.в}$ , мм	$i_p$	$N_{эл.дв}$ , кВт	$n_{эл.дв}$ , об/мин	$n_B$ , об/мин	$M_{пр}^{max}$ (ш.кл.), кН×м	$M_{пр}^{max}$ (ред.), кН×м
Черновая группа									
1Г	400–360	710	360	11,4	240	100–600	8,8–52,5	78	36
2Г	400–360	710	360	11,4	680	130–660	11,4–58,0	78	86,5
3Г	400–360	710	360	10,9	680	180–900	16,4–82,5	78	86
4Г	400–360	710	360	5,8	680	130–660	22,4–114	78	85
5Г	400–345	710	360	5,8	680	180–990	31,0–155	78	54
6Г	400–345	710	360	4,5	680	180–900	40,0–200	78	55
7Г	400–345	710	360	3,53	680	180–900	51,0–255	78	55
Промежуточная группа									
8Г	400–345	710	360	2,55	870	200–810	78,5–318	78	60
9Г	400–345	710	360	1,88	870	200–810	106–430	78	60
Чистовая группа									
12В	330–295	520		1,47	680	250–1 000	170–680	11	19
13Г	330–300	500	358	1,25	680	250–1 000	200–800	17,5	19,5
14В	330–295	520		–	680	250–1 000	250–1000	7	–
15Г	330–300	500	358	0,76	680	250–1 000	330–1320	9	14
16В	330–295	520		0,76	680	250–1 000	330–1320	3	10,3
17Г	300–265	500	358	0,60	680	250–1 000	447–1665	5	11



Рис. 4.87. Транспортировка заготовки из печи по соединительному рольгангу к черновой группе клетей



Рис. 4.88. Прокатка в две нитки в черновой группе клетей



Рис. 4.89. Прокатка раската в чистой группе клетей

Ускоренное охлаждение применяют при производстве профилей почти из всех прокатываемых сталей, кроме стали 80С (ГОСТ 5781-82). Для этого используют блок предварительного охлаждения за барабанными ножницами, в который входит прямоточное охлаждающее устройство, механические воздушные (а при необходимости и водяные) отсекатели; противоточное охлаждающее устройство. При выборе режима ускоренного охлаждения учитывают скорость прокатки, количество включенных насосов, давление воды в охлаждающем устройстве. Так как скорость прокатки большинства профилей размерами 16–22 мм составляет 13–17 м/с (кроме шестигранной стали размерами 22–27 мм), то работает один насос с давлением воды 0,8–1,2 МПа. Для более крупных профилей скорость прокатки составляет 7–13 м/с и поэтому работают один-два насоса с давлением воды 1,1–1,5 МПа.

Сталь для армирования железобетонных конструкций № 16–20 термоупрочняют в установленном за барабанными летучими ножницами (за чистой клетью левой стороны стана) блоке предварительного охлаждения и в основной охлаждающей трассе (пяти охлаждающих устройств) на требуемый класс (Ат-IV; Ат-V; Ат-VI; Ат-IVС) по ГОСТ 5781-82, ГОСТ 10884-81. Сталь 25Г2С обрабатывают только по классу Ат-IVС. В режиме термоупрочнения учитывается скорость прокатки, количество включенных насосов, давление воды по блокам установки. Пределы изменения параметров процесса термоупрочнения профилей № 16...20: скорость прокатки 13,6–16,5 м/с, число включенных насосов – от двух до пяти; давление воды в блоке предварительного охлаждения от 0,5–0,8 до 1,0–1,5 МПа; в устройстве I – от 0,8–1,2 до 1,0–1,2 МПа; в устройствах II-IV – 1,8–2,0 МПа; в устройстве V – от 1,4–1,5 до 1,8–2,0 МПа. При этом температура охлаждающей воды  $\leq 40$  °С. Температура конца прокатки 1 030–1 050 °С.

В связи с термоупрочнением стали на стане заменены ножницы холодной резки на более мощные усилием резания 8 МН.

*Оборудование участков и технология порезки, охлаждения и отделки проката*

Раскаты, выходящие из чистовых групп клетей, режут на длины, соответствующие длине холодильника, на двух барабанных летучих ножницах усилием 0,15 МН. Минимальная температура разрезаемого металла 850 °С. Порезанные раскаты поступают на холодильник по транспортному рольгангу (рис. 4.90). Для направления передних концов раскатов на один из двух подводящих рольгангов холодильника предназначен отбойник, включающий три ролика.



Рис. 4.90. Двухсторонний речный холодильник с транспортным рольгангом в центре

Холодильник двухсторонний речного типа общей шириной 22 м, длиной 125 м. Подводящий рольганг имеет скорость транспортировки 6,5–24 м/с.

Охлажденные на холодильнике раскаты режут на ножницах холодной резки усилием 5 МН (правого исполнения на обеих нитках отводящего рольганга). Общее поперечное сечение разрезаемого материала  $\leq 1\,130\text{ мм}^2$ . Максимальный темп резания 10 с, а время холостого хода ножа – 1,5 с. Режут раскаты пакетами, набираемыми с помощью сборника раскатов в один слой. Максимальное число прутков в пакете круглого, квадратного, шестигранного сечений не должно превышать: арматурного профиля размером 14–15 мм  $\leq 50$  шт; 16–17 мм –  $\leq 40$  шт; 20–21 мм –  $\leq 30$  шт; 25–27 мм – 20 шт; 28–30 мм –  $\leq 15$  шт.

Перед началом порезки профилей размером  $\geq 22$  мм, а также всех шестигранных профилей передние концы раскатов пакета выравнивают под упор и обрезают.



Раскаты можно резать на длины от 4 до 24 м (в основном на 6–12 м), используя передвижной упор за ножницами.

Сортируют прокат в потоке как на отводящих и уборочных рольгангах, так и в карманах. Прокат, отбракованный в потоке, а также прокат особого назначения направляют на отделку, а затем поштучную сортировку, доотделку и приемку на складе готовой продукции. После карман-весов (рис. 4.91) пакеты проката увязывают автоматически катанкой диаметром 6,5 мм (рис. 4.92 и 4.93)

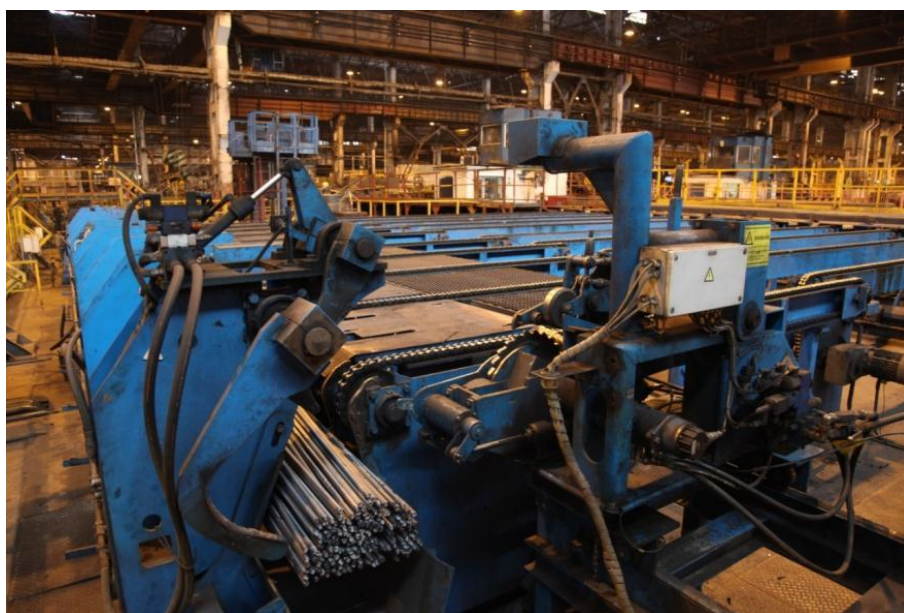


Рис. 4.91. Карманы-весы готового проката



Рис. 4.92. Автоматическая увязка пакетов готового проката



Рис. 4.93. Вид пакетов готового проката

#### **4.6.3. Схемы прокатки простых профилей в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-5 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь»**

Качество сортового проката как по точности, так и по дефектам поверхности в значительной мере определяется схемой деформации металла и калибровкой профиля. В свою очередь схема деформации связана с конструкцией стана и другого оборудования цеха [1].

В общем случае, простые профили проката – круг, квадрат и шестигранник прокатываются по общей схеме (рис. 4.94).



Рис. 4.94. Общая схема прокатки простых профилей [1]

Применяются три разные группы калибров, в каждой из которых решаются свои задачи [1]. Несколько первых пропусков выполняются по «системе ящичных калибров». Эти калибры позволяют легче, чем другие, освободить поверхность раската от печной окалины. В ящичных калибрах обжатие осуществляется, в основном, по двум сторонам заготовки. Две другие стороны находятся под воздействием небольшого бокового обжатия со стороны стенок калибра и свободно освобождаются от окалины.

При использовании других систем калибров, например, «ромб-квадрат» или «овал-квадрат», когда обжатие осуществляется сразу по четырем сторонам, опасность вдавливания печной окалины в поверхность металла значительно выше, особенно в том случае, когда отсутствует система гидросбива окалины.

Ящичные калибры в первых клетях стана необходимы также для стабилизации размеров горячекатаной заготовки. Заготовка, прокатанная на непрерывно заготовочном или другом заготовочном стане, имеет большие допуски, а часть заготовки с поверхности выборочно или полностью зачищена. Поэтому поперечные сечения исходной заготовки имеет большой разброс по размерам. В ящичных калибрах формируются ее точные размеры, которые обеспечивают стабильную прокатку в следующих калибрах.

По сравнению с калибрами системы «ромб-квадрат», предназначенной также для получения квадрата (кстати, более точного по геометрии), ящичные калибры имеют более меньший врез в валки, не имеют концентраторов напряжений по дну калибров.

Наконец, «ящичная система калибров» в первых пропусках, когда заготовка массивна, а температура металла высока, обладает достаточно высокой вытяжной способностью.

В вытяжной системе калибров, следующей за ящичной, стремятся за наименьшее количество пропусков при высоком качестве проката получить подкат требуемых размеров и формы сечения, который обеспечивает качественную прокатку в чистовой системе калибров. Основные системы вытяжных калибров: «овал-квадрат», «ромб-квадрат», «овал-ребровой овал» и их разновидности (табл. 4.18). Каждая из них имеет свои достоинства, недостатки и область применения на прокатных станах.

Следует особо подчеркнуть, что наибольшие проблемы при выборе калибров вытяжной системы приходится решать на мелкосортных и проволочных непрерывных станах. Основная задача здесь состоит в том, чтобы обеспечить высокую устойчивость и стабильность процесса прокатки при высокой вытяжной способности применяемых калибров. Кроме того, необходимо также сохранить универсальность калибровки.

При прокатке в чистовой системе калибров решается главная задача – получение готового профиля с необходимой точностью и без дефектов по поверхности. Обычно для простых профилей чистовыми являются два последних калибра.

Применительно к условиям мелкосортного стана 250-5 калибровка валков для прокатки фактического сортамента приведена на рис. 4.95 и 4.96. В таблице 4.19 режим деформирования для прокатки арматурной стали № 18. Во всех случаях, в качестве исходной заготовки используется квадратное сечение 80×80 мм, полученное на непрерывно-заготовочном стане.

При построении калибровки валков для прокатки круглых профилей использовали следующие системы калибров. В черновых клетях 1–3 врезаны ящичные калибры. В вытяжных калибрах (клетки 4–9) возможно использование одной из двух систем:

- во-первых: «овал-квадрат»;
- во-вторых: «овал-ребровой овал».

Таблица 4.18

## Схемы калибровки валков чистовых групп клетей и условия их применения

Номер схемы	Схема калибровки против направления прокатки	Сечение заготовки	Тип стана			Диаметр или сторона чистового профиля, мм	Наличие промежуточных профилей	Сталь	Износ валков	Точность профиля
			назначение	расположение клетей	Наличие чередования клетей *					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Круг-овал-ребровой овал-овал	Квадрат, круг, ребровой овал	Пр, Мс, Сс	Непрерывное, последовательное	Да, нет	5-70	Нет	У, Нл, Вл	Наименьший	Повышенная
2	Круг-овал-круг-овал	То же	Пр, Мс, Сс	Непрерывное, последовательное, линейное	->-	5-70	Да	У, Нл, Вл	Средний	->-
3	Круг-овал-квадрат-овал	Квадрат	Мс, Сс	Последовательное, линейное	Нет	10-70	Нет	У, Нл	Повышенный	Обычная
4	Круг-овал-ящичный квадрат-гладкая бочка	->-	Сс, Кс, Нз	Непрерывное, последовательное, линейное	Да, нет	60-140	->-	У, Нл	Средний	->-
5	Круг-плоский овал-ящичный квадрат-прямоугольник	->-	Кс, Нз	То же	->-	60-140	->-	У, Нл, Вл	Меньший	->-
6	Круг-плоский овал-квадрат-шестиугольник	->-	Сс, Кс	Последовательное, линейное	->-	40-100	->-	У, Нл, Вл	Средний	Повышенная
7	Круг-плоский овал-квадрат-ромб	Квадрат	Сс, Кс	Последовательное, линейное	Да, нет	30-100	Нет	У, Нл	Наименьший	Повышенная
8	Круг-овал-овал-овал	Круг	Пр, Мс, Сс	Непрерывное, последовательное	->-	5-70	->-	У, Вл	Повышенный	Обычная
9	Круг-овал-квадрат-ромб	Квадрат	Сс, Мс	Последовательное, линейное	Нет	20-50	->-	У, Нл, Вл	Средний	Повышенная

Продолжение таблицы 4.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	Круг-овал-ребровой овал-овал-ребровой овал-овал	Квадрат, круг, ребровой овал	Мс	Непрерывное	Да	10-20	Нет	Нл, Вл	Наименьший	Повышенная
11	Круг- овал-круг- овал-круг -овал	То же	Мс	Непрерывное, последовательное	Да, нет	10-30	Да	Нл, Вл	Средний	-»-
12	Квадрат-ромб- квадрат- шестиугольник	Квадрат	Сс, КС, Нз	То же	-»-	40-125	Нет	У, Нл	-»-	-»-
13	Квадрат-ромб- ящичный квадрат- гладкая бочка	-»-	Сс, Кс	Последовательное, линейное	-»-	40-150	-»-	У, НЛ, Вл	Наименьший	Обычная
14	Квадрат-ромб- квадрат-ромб- квадрат-ромб	Квадрат	Мс, Сс, Кс, Нз	Непрерывное, последовательное, линейное	Да, нет	10-100	Да	У, Нл, Вл	Средний	Повышенная
15	Квадрат-ромб- ящичный квадрат- ящичный прямоу- гольник	-»-	Сс, Кс	Последовательное	-»-	50-120	Нет	У, Нл, Вл	Наименьший	Обычная
16	Квадрат- прямоугольник- квадрат- прямоугольник в ящичных калибрах	-»-	Кс, Нз	Непрерывное, последовательное, линейное	-»-	80-200	Да, нет	У, Нл,	-»-	-»-
17	Квадрат-ромб- квадрат-овал	Квадрат	Мс, Сс, Кс	Последовательное, линейное	Нет	10-100	Нет	У, Нл, Вл	Средний	Повышенная
18	Квадрат-овал- квадрат-овал	Квадрат	Сс, Мс	Последовательное	Нет	20-50	Нет	У, Нл	Повышенный	Обычная
19	Квадрат- ромб- квадрат-ромб	Квадрат	Мс, Сс, Кс, Нз	Непрерывное, последовательное	Да	10-100	Да	У, Нл, Вл	Средний	Повышенная

Примечания: 1. Станы: Пр - проволочный, Мс - мелкосортный, Сс - среднесортный, Кс - крупносортный, Нз - непрерывно-заготовочный. 2. Группы марок сталей: У - углеродистые, Нл, Ср, Вл - соответственно низко-, средне-, высоколегированные.

\* Чередование горизонтальных и вертикальных клетей.

Таблица 4.19

## Режим деформирования арматурной стали № 18

№ кл	Форма калибра	Размеры калибров			Размеры полосы			Коэф. вытяжки	Обжатие	Уширение	Угол захвата	Диаметр валков		Обороты валков			Передающее число	Число оборотов двигателя	Скорость прокатки	Длина раската	Константа калибровки		
		ширина	глубина вреза	зазор	высота	ширина	площадь сечения					по буртам	катающих	мин.	макс.	расчетные					72 802 547,77		
																					мм	мм	мм
		Исходная заготовка			81	81	6400														11,2	Средняя вытяжка	1,24
1		100	18,0	31,0	67	85	5490	1,17	14,0	4,0	15,9	400	366,8	8,8	52,5	36,4	11,4	414	0,70	13,1	Масса заготовки, кг	530	
2		95	18,0	11,5	47,5	93	4150	1,32	19,5	8,0	18,8	400	366,9	11,4	58	47,8	11,4	545	0,92	17,3	Масса 1 метра профиля, кг	2,000	
3		61	18,0	18,0	54	59	3005	1,38	39,0	11,5	26,7	400	367,1	16,5	82,5	66,0	10,9	719	1,27	23,9	Время прокатки		
4		80	10,75	12,5	34	75	2310	1,30	20,0	16,0	18,6	400	381,7	21,4	114	82,6	5,8	479	1,65	31,0	Машин, с	18,8	
5		38	18,5	15,0	52	41	1640	1,41	23,0	7,0	20,2	400	375,0	31	155	118,4	5,8	687	2,32	43,7	Пауз, с	1,5	
6		61	6,75	12,5	26	60	1290	1,27	15,0	8,0	15,9	400	391,0	40	200	144,3	4,5	650	2,95	55,6	Темп прокатки, с	20,3	
7		33	17,0	7,5	41,5	32	988	1,31	18,5	6,0	17,8	400	376,6	51	255	195,7	3,5	685	3,86	72,6	Теоретически возможная часовая производительность по всаду		
8		56	4,7	10,1	19,5	49	790	1,25	12,5	7,5	14,5	400	394,0	78,5	318	233,9	2,55	596	4,82	90,7			
9		28	10,5	11,0	32	25,5	600	1,32	17,0	6,0	17,0	400	387,5	106	430	313,2	1,88	589	6,35	119,5	шт/час	т/час	
10														146	590		1,37				354,4	187,9	
11														170	685		1,18				Примечание: граничные отклонения размеров полосы по клетям ±2%		
12		42	3,0	10,0	16	38	503	1,19	9,5	6,0	12,9	380	376,8	170	680	384,2	1,47	565	7,57	142,5			
13		21	10,5	5,5	26,5	21	401	1,25	11,5	5,0	14,4	380	366,4	200	800	495,5	1,25	619	9,50	178,8			
14												380		250	1000		1,0						
15												380		330	1320		0,79						
16		31,2	3,0	8,5	14,5	28	350	1,15	6,5	1,5	10,7	380	376,0	330	1320	553,2	0,79	437	10,89	204,8			
17		19,2	7,1	2,0	16,2	21	254	1,38	11,8	6,5	14,5	380	369,9	417	1670	774,9	0,6	465	15,00	282,2			

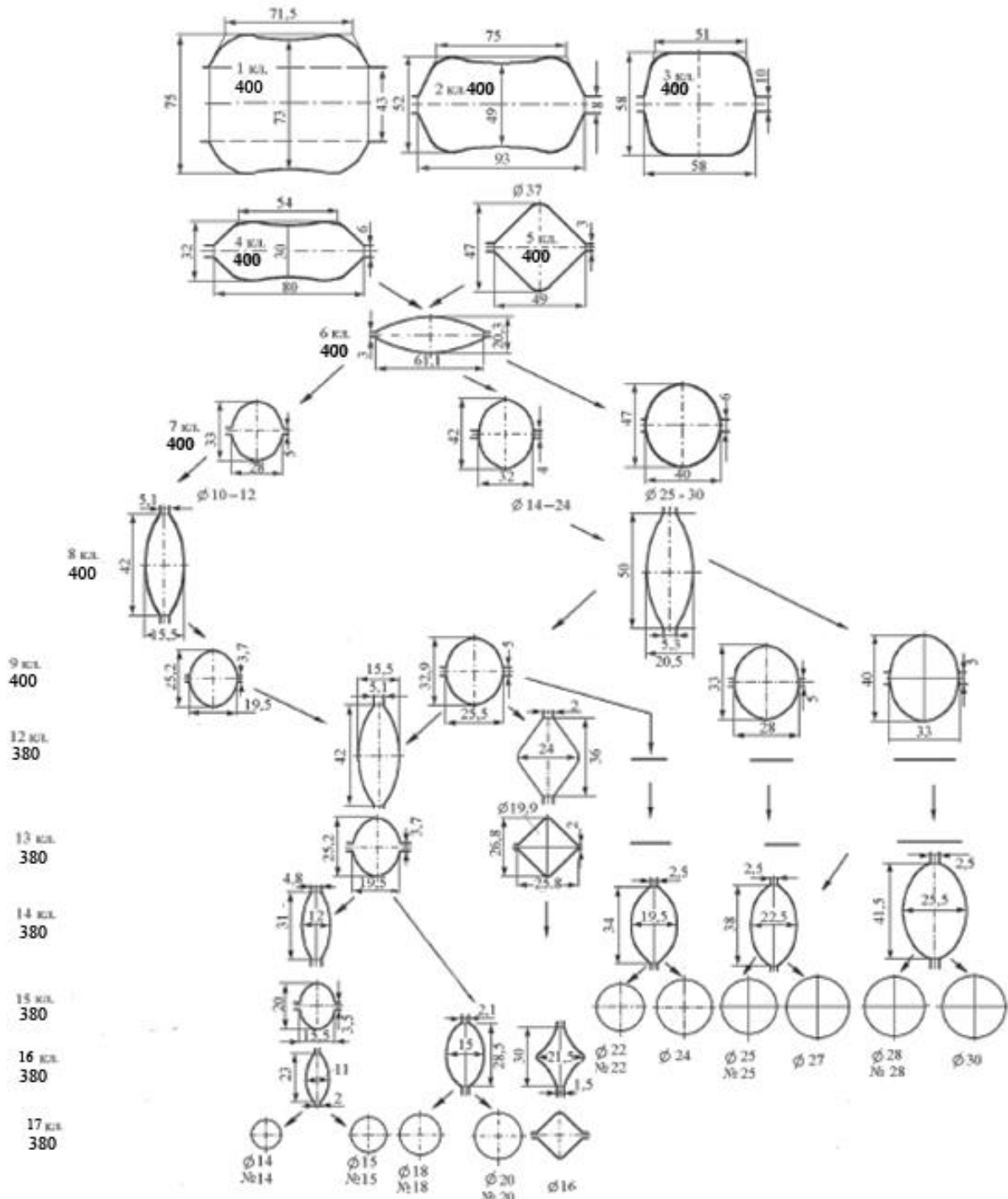


Рис. 4.95. Калибровка валков мелкосортного непрерывного стана  
250-5 ПАО «АрселорМитталКриворожсталь»

При этом не существует способов удержать такую полосу в требуемом положении. Скручивание квадрата в овальном калибре вызывает искажение формы овала и нередко служит причиной застревания раската в валках [1]. Эти недостатки особо ощутимы при значительном натяжении полосы между клетями. Снижение натяжения уменьшает их, но полностью не устраняет. К тому же при низких натяжениях появляется опасность получить прокатку с петлей, на что стан не настроен. Это приводит, как правило, к аварии.

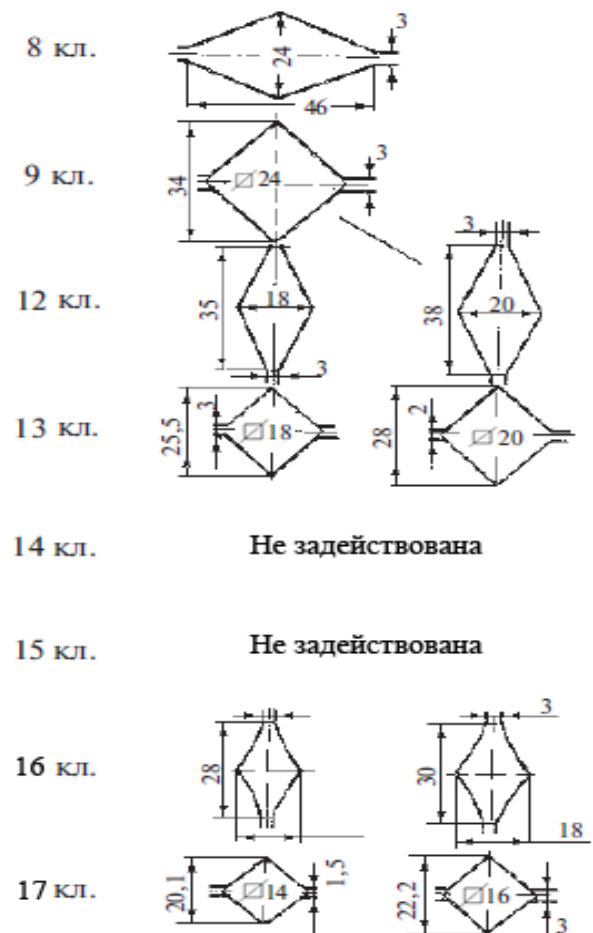


Рис. 4.96. Калибровка промежуточной и чистовой групп клетей мелкосортного непрерывного стана 250-5 для прокатки квадратных профилей

В случае использования системы «овал-квадрат» обеспечивается высокая вытяжная способность, что позволяет прокатать сравнительно мелкие круги (от 10 до 14 мм по диаметру). При этом в случае прокатки кругов выше 14 мм получается сравнительно низкий расход энергии на 1т проката.

Однако опыт эксплуатации данной системы в условиях мелкосортного стана 250-1 этого же комбината показал, что по этой системе прокатка с натяжением проходит крайне неустойчиво.

Вследствие натяжения квадратные калибры заполняются не полностью. Прокатка квадратной полосы с незаполненными углами в овальном калибре сопровождается скручиванием полосы между клетями.

Таким образом, система «овал-квадрат» не обеспечила условий для нормальной устойчивой работы стана 250-1. Поэтому в дальнейшем на стане 250-1 и 250-5 была принята к использованию система «овал-ребровой овал». Опыт ее использования показал, что прокатка во всех калибрах стала устойчивой. Даже при значительных колебаниях натяжения между клетями исчезли случаи петлеобразования в межклетевом промежутке. Наблюдается определенная неустойчивость при прокатке мелкой овальной полосы в ребровом овале. Однако при применении более тесных проводок недостаток устраняется.



Несмотря на то, что сама по себе система калибров «овал-ребровой овал» менее производительна, чем система «овал-квадрат», при ее использовании производительность стана повысилась за счет более стабильной прокатки, уменьшения переналадок, повышения стойкости калибров и других причин. Калибровка «овал-ребровой овал» в настоящее время успешно применяется на многих мелкосортных и проволочных станах.

Прокатка квадратных профилей (см. рис. 4.96) протекает с использованием традиционной калибровки по системе «ромб-квадрат».

На приведенных примерах видно, что калибровка валков определяет полностью как технологию прокатки, так и экономические показатели, и организацию работы сортового стана.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой тип рельсобалочных станов является наиболее распространенным? В чём заключаются преимущества такого типа рельсобалочных станов?
2. Какие технологические особенности отличают прокатку раската в трехвалковой клетки рельсобалочного стана?
3. Что способствует повышению точности прокатки в чистовой двухвалковой клетки рельсобалочного стана?
4. Чем обусловлено применение универсальной клетки в линии рельсобалочного стана?
5. Как влияют на качество горячекатаных профилей неравномерный нагрев и низкая температура конца прокатки, высокая температура конца прокатки?
6. Какие подготовительные калибры (по форме) применяются на наиболее распространенных рельсобалочных станах линейного типа?
7. В какой части блюм имеет наиболее рыхлое строение?
8. Что обеспечивает небольшой врез ручьев в валки и отсутствие осевых усилий на валках при прокатке?
9. Какую возможность дает схема с наклонными калибрами при прокатке железнодорожных рельсов?
10. На рельсобалочных и крупносортовых станах какого типа производится наиболее значительное количество двутавровых балок и других видов проката, входящих в группу фланцевых профилей.
11. Какие плюсы и минусы у закрытых калибров?
12. В чём заключаются существенные особенности прокатки швеллеров?
13. Какие калибры применяют при прокатке швеллеров по корытному способу?
14. Какой ряд черновых калибров включает развернутая калибровка швеллеров?
15. Какие калибры применяют в черновых проходах при прокатке швеллеров по способу сгибания?
16. Какие основные дефекты наблюдаются при нагреве металла?

17. Какие особенности имеет калибровки арматурной стали?
18. От чего главным образом зависит правильное очертание поверхностных выступов арматурной стали?
19. На каких принципах основывается технологический процесс закалки поверхности и самоотпуска проката в линии непрерывного средне- или мелкосортного стана?
20. При производстве какой продукции применяется прокатка в две нитки?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудской, А.И. Теория и технология прокатного производства [Текст]: учеб. пособие / А.И. Рудской, В.А. Лунев. – СПб.: Наука, 2008. – 527 с.
2. Кремер, К.И. Технология изготовления и контроль качества заготовок, изготовленных из стали специальных марок методом непрерывной разливки металла / К.И. Кремер, К.Х. Хейнен, З. Гейсвейд, П.Г. Оберхаузер // Металлургический завод и технологии: Междун. конф. AISI, Бирмингем, шт. Алабама, США, 25–27 марта 1985 г. – С. 62–75.
3. Разработка промышленной технологии производства профиля Н170У из непрерывнолитого металла / Е.Н. Смирнов, И.В. Лейрих, М.В. Григорьев [и др.] // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. – Сер. Металургія. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – Вып. 66. – С. 86–92.
4. Коновалов, Ю.В. Металлургия [Текст]: уч. пособие: в 3 кн. Кн.2: Металловедение и основы термической обработки металлов. Теоретические основы обработки металлов давлением. Сортамент прокатной продукции. Производство заготовок, листопрокатное производство / Ю.В. Коновалов, А.А. Минаев. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 496 с.
5. Основы производства и обработки металлов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / А.И. Булгакова, И.Л. Константинов, Т.Р. Гильманшина [и др.] – Электрон. дан. (4 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – (Основы производства и обработки металлов: УМКД № 61-2007 / рук. творч. коллектива И.Л. Константинов). – 1 электрон. опт. диск (DVD).
6. Василев, Я.Д. Теорія позовжньої прокатки [Текст]: підручник / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
7. Шишко, В.Б. Основы калибровки валков сортовых станов [Текст]: уч. пособие / В.Б. Шишко, В.А. Трусов, Н.А. Чиченев, В.Б. Крахт. – М: МИСиС, 2003. – 103 с.
8. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков [Текст]: уч. пособие для вузов // В.К. Смирнов, В.Л. Шилов, Ю.М. Инатович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Тепло-техник, 2010. – 490 с.
9. Диомидов, Б.Б. Калибровка прокатных валков / Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1970. – 312 с.
10. Чекмарёв, А.П. Калибровка прокатных валков [Текст]: уч. пособие для вузов / А.П. Чекмарев, М.С. Мутьев, В.П. Машковец. – М.: Металлургия, 1981. – 512 с.
11. Смирнов, В.С. Теория прокатки [Текст]: уч. пособие для вузов / В.С. Смирнов. – М.: Металлургия, 1967. – 460 с.
12. Берковский, В.С. Теоретические основы и расчет калибровки валков сортовых прокатных станов [Текст]: уч.-метод. пособие / В.С. Берковский. – М.: МИСиС, 2003. – 103 с.

13. Прокатные станы [Текст]: справочник: в 3 т. Т. 1. Обжимные, заготовочные и сортопрокатные станы 500-950/ В.Г. Антипин, С.В. Тимофеев, Д.К. Нестеров [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1992. – 429 с.
14. Бахтинов, Б.П. Калибровка прокатных валков [Текст]: монография / Б.П. Бахтинов, М.М. Штернов. – М.: Металлургиздат, 1973. – 780 с.
15. Луцкий, М.Б. Производство швеллеров [Текст]: монография / М.Б. Луцкий, А.А. Чичкан, П.Н. Денищенко. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 281 с.
16. Освоение производства высококачественной продукции на самом новом в Украине среднесортно-мелкосортном стане / Э.О. Цкитишвили, А.Н. Чудновец, В.Н. Бруханский [и др.] // Бюл. Черная Металлургия, 2011. – № 7. – С. 56–65.
17. Литовченко, Н.В. Калибровка профилей и прокатных валков [Текст]: монография / Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1990. – 432 с.
18. Теория и практика многоручьевого прокатки-разделения [Текст]: монография / Г.М. Шульгин, О.В. Дубина, В.Ф. Губайдулин [и др.]. – Севастополь: Вебер, 2003. – 622 с.
19. Жучков, С.М. Инновационные технологии сортопрокатного производства [Текст] / С.М. Жучков, А.П. Лохматов // Наука та іновації, 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 49-60.
20. Жучков, С.М. Тенденции развития технологии производства катанки / С.М. Жучков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні [Текст]: темат. зб. наук.пр. / Донбас. держ. машинобуд. акад. – Краматорськ: ДДМА, 2003. – С. 34–41.
21. Roy, C. Morgan compactmill design parameters, applications and operational benefits [Text] / C. Roy, A. Leger, P. Parisean // Iron and Steel Eng. – № 11. – 1982. – P. 25–30.
22. Fleming, F. Koompactwalzgeruste and Walzstaffeln in Blockbauweise [Text] / F. Fleming, R. Kuhne // Neue Hutte, Bd 28. – № 5. – 1987. – S. 377–382.
23. Ammerling, W.I. Abhangigkeit der Anlagenauslegung von der Walzen den Drahtqualität [Text] / W.I. Ammerling // Draht, Bd 31. – № 5. – 1980. – S. 263–264.
24. Dull, T. The Stelmor process for controlled cooling of roll [Text] / T. Dull, A. Dove, I. Hitchcock // Wire and Wire Products, 1964. – V. 39. – P. 1605.
25. Жучков, С.М. Новая технология и оборудование для повышения качества катанки / С.М. Жучков, А.А. Горбанев, Б.Н. Колосов // Наука и инновации. – 2007. – № 3. – С. 43–49.
26. Мечел запустил рельсобалочный стан в Челябинске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.regnum.ru/news/polit/1684417.html>.
27. Классификация калибров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://steel-education.org/content/razdel-23-klassifikaciya-kalibrov>.
28. Прокатка металла в калибрах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metaljournal.com.ua/rolling-2/>.

*Учебное издание*

**Смирнов Евгений Николаевич, Белевитин Владимир Анатольевич,  
Скляр Виталий Александрович, Кисиль Виктор Владимирович**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ:  
ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮМОВ  
И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

Учебное пособие

**ISBN 978-5-906777-62-1**

Работа рекомендована РИСом университета.  
Протокол № 9 (пункт 5) от 2016 г.

Издательство ЧГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор О.В. Максимова  
Технический редактор А.Г. Петрова  
Компьютерный набор В.А. Белевитин

Подписано в печать 11.02.2016

Формат 60x84/8                      Объем 14,5 уч.-изд. л.

Заказ №                                      Тираж 100 экз.

Бумага типографская

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ЧГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69