

М. Л. ЗАРОЩИНСКИЙ

# ПРОКАТКА СТАЛИ

*Допущено  
Министерством высшего образования СССР  
в качестве учебника  
для металлургических вузов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ  
Москва 1948

## АННОТАЦИЯ

*В книге излагаются технологические процессы получения всех основных видов прокатных изделий — полупродукта, рельсов, балок, сортового и листового металла, бандажей, колес и труб. При изложении методов прокатки тех или иных видов продукта дается лишь краткое описание применяемого оборудования и калибровки валков, необходимое для понимания сущности процесса, имея в виду, что подробно оборудование и калибровка описываются в специальных курсах. Во всех необходимых случаях технологический процесс излагается в увязке с основными положениями теории прокатки.*

*В соответствии с этим описывается течение материала при прокатке важнейших видов продукта, выводятся формулы для расчета элементов технологического процесса и приводятся примеры пользования этими формулами.*

*Книга написана по программе металлургических вузов на основе материала лекций, читанных автором студентам Московского института стали и предназначается в качестве учебника для вузов.*

## ВВЕДЕНИЕ

В дореволюционной России металлургическое производство концентрировалось преимущественно на юге. Большая часть южных заводов возникла в связи с значительным спросом на железнодорожный металл в 90-х годах прошлого столетия. Заводы эти были выстроены по лучшим образцам западноевропейской техники того времени и представляли значительный шаг вперед по сравнению с уральскими заводами, с их отсталой техникой.

С начала 900-х годов металлургическая промышленность России вступила в полосу тяжелого кризиса, и этот год можно считать началом относительной деградации в прокатном производстве. Недостаточная загрузка заводов и наличие дешевой рабочей силы не побуждали вкладывать средства для усовершенствования производства. Начавшийся в 1911 г. подъем в металлургии не был длительным, вследствие наступившей первой империалистической войны. Последовавшие затем годы гражданской войны и разрухи почти полностью остановили производство — в 1920 г. было прокатано всего 147 тыс. т стали, что составило 4% от достигнутого уровня прокатного производства в 1913 г. (3506 тыс. т).

Техническое состояние прокатного производства к этому времени может быть охарактеризовано следующим образом:

1. Блуминги обжимали слитки только для рельсобалочных станов, вся же сортовая и листовая сталь прокатывалась из мелких слитков. Экономическая выгодность этой производственной схемы оправдывалась дешевизной рабочих рук.
2. Во всех цехах не было ни одного современного блуминга, ни одного непрерывного стана.
3. Электрификация цехов была недостаточная, в значительном количестве применялись паровые машины.
4. Станы были слабо механизированы, автоматические холодильники были установлены только на двух сортовых станах.
5. Заводы прокатывали почти исключительно торговый металл, качественный металл не прокатывался совершенно.

6. Мощность прокатных цехов превышала мощность сталеплавильных агрегатов, что является характерным для капиталистической металлургии.

Восстановительный период и первая пятилетка характеризуются тем, что имевшиеся прокатные станы могли прокатать большее количество слитков, чем могли дать сталеплавильные цехи. Все усилия металлургов были направлены на увеличение выплавки чугуна и стали. В течение этого периода было введено 16 новых прокатных станов часть из которых вошла в работу только в конце 1932 г и оказала значительное влияние на состояние техники прокатного производства в последующем периоде.

Вторая и третья пятилетки характеризуются строительством и вводом в работу новых прокатных цехов, и станов, и в первую очередь на таких крупнейших заводах Советского Союза, как Магнитогорский, Кузнецкий, Макеевский и «Запорожсталь». Благодаря строительству этих заводов был достигнут значительный рост выпуска проката и произошел серьезный сдвиг в технике прокатного производства в СССР. В этом периоде освоены прокатные станы почти всех новых типов, что создало базу не только для более совершенной технологии, но и для дальнейшего конструирования и изготовления новых станов на советских машиностроительных заводах. Были построены новые машиностроительные заводы — Ново-Краматорский и Уральский, которые стали изготавливать прокатные станы.

Все новые прокатные цехи построены для переработки стали в крупных слитках весом 6—8 т, обжимаемых на блюмингах и слабингах в блумы, слабы и заготовки, являющиеся исходным материалом для прокатки готового продукта. Эта технологическая схема находится в неизбежной связи с огромным масштабом производства на современном металлургическом заводе, который в 5—10 раз превышает объем производства на старых заводах.

Введение в работу новых станов позволило повысить качество готового продукта благодаря прокатке из слитков большого веса, с высокими обжатиями, с двойным подогревом, промежуточной зачисткой. Большое значение для повышения качества готового продукта имела организация на заводах отделов технического контроля (ОТК), осуществляющих сквозной контроль производства в прокатных цехах.

Одновременно с расширением прокатного производства произошли изменения и в сортаменте выпускаемого готового продук

та. Эти изменения коснулись почти всех видов прокатных изделий. Рельсопрокатные заводы перешли на выпуск рельсов типа I-а вместо рельсов типа III-A, заново организовано производство цельнопрокатных колес; производство качественного металла фактически организовано по-настоящему во второй и третьей пятилетках.

Вместе с изменением сортамента изменилась и специализация отдельных прокатных станов и целых заводов. Особо были выделены заводы для производства качественного металла. Были достигнуты большие успехи в области повышения производительности труда в прокатных цехах как за счет ввода более производительных новых станов, так и за счет развития стахановских методов работы.

Вторая мировая война и немецкая оккупация прервали нормальный ход развития производства. Большое количество прокатных станов было перебазировано на восток. Однако значительная часть прокатных цехов и станов была разрушена немецкими оккупантами. Поэтому задачи, поставленные партией и правительством в первой послевоенной пятилетке, предусматривают восстановление и дальнейший рост прокатного производства до 17,8 млн. т в 1950 г. В дальнейшие 10 и более лет выплавка стали должна быть доведена до 60 млн. т, в связи с чем выпуск проката увеличится, примерно, до 45 млн. т.

Для достижения этой задачи потребуется установить наиболее высокопроизводительные прокатные станы с мощностью, значительно превышающей ту, которую имеют современные станы. В этих целях должны осуществляться следующие основные мероприятия: 1) интенсификация производственного процесса за счет повышения веса исходных материалов — слитков и заготовок, и за счет повышения обжатия; 2) увеличение скорости прокатки, в особенности на непрерывных станах; 3) дифференциация всего процесса прокатки на отдельные стадии; 4) применение непрерывных станов не только для прокатки плоского материала (листов и ленты), проволоки и заготовки, но также для сортового и фасонного металла.

Помимо установки новых станов необходимо произвести реконструкцию и улучшение работы существующих станов, механизацию трудоемких участков и автоматизацию производственных процессов.

Вместе с количественными задачами должны быть решены и вопросы качественного характера, которые не были осуществлены в предшествующем периоде. К этим задачам относятся следующие: 1) увеличение производства качественного металла, в частности дешевой низколегированной стали; 2) расширение производства рельсов тяжелых типов; 3) введение производства широкополочных балок высотой до 1200 мм; 4) введение производства тонкостенных фасонных профилей и профилей переменного сечения; 5) производство рулонной холоднокатаной жести; 6) расширение огневого метода зачистки полупродукта; 7) прокатка толстых листов шириной до 5000 мм; 8) повышение точности прокатки; 9) улучшение поверхности прокатываемого металла.

Уже в течение первых трех лет послевоенной пятилетки достигнуты значительные успехи в прокатном производстве: в кратчайший срок восстановлены прокатные цехи «Запорожстали» и завода им. Карла Либкнехта, построены новый рельсобалочный цех на заводе «Азовсталь», новый трубопрокатный цех на Никопольском заводе, для прокатки труб до 350 мм, осуществлена полная автоматизация производственного процесса на некоторых сортовых станах. Восстановление и развитие прокатного производства в послевоенной Сталинской пятилетке идет невиданными темпами.

# 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

## 1. МЕСТО ПРОКАТНОГО ЦЕХА В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Конечная цель полного или замкнутого цикла металлургического производства — получение прокатных изделий. Для этого на современном металлургическом заводе осуществляются три основные последовательные стадии производственного процесса:

- 1) получение чугуна из руды в доменных печах,
- 2) получение стали в сталеплавильных агрегатах,
- 3) прокатка стальных слитков в прокатных станах.

В соответствии с этим современный металлургический завод обычно имеет три основных производственных цеха — доменный, сталеплавильный и прокатный. Кроме того, к ним часто добавляется еще четвертый — коксовый, производящий кокс для доменной плавки. Такая организация производства обусловливается стремлением использовать тепло полупродукта, получаемого в промежуточных стадиях производства, и отходящие газы доменных и коксовых печей.

Тепло полупродукта используется при передаче жидкого чугуна из доменного цеха в сталеплавильный и при передаче горячих слитков из сталеплавильного цеха в прокатный. Тепло полупродукта можно использовать также в промежуточных стадиях прокатного производства.

Тепловая энергия отходящих газов применяется для отопления мартеновских и нагревательных печей и для выработки электроэнергии, расходуемой преимущественно в прокатном цехе.

Таким образом, прокатный цех является обязательной составной частью современного металлургического завода, звеном, где завершается его производственный процесс.

## 2. СТРУКТУРА ПРОКАТНОГО ЦЕХА

Структура прокатного цеха в основном определяется сортаментом выпускаемых изделий и объемом производства. Но одна особенность характерна для всех современных прокатных цехов — это обязательное наличие в них блуминга или слябинга, являющихся основными агрегатами цеха. Эти агрегаты являются как бы связующим звеном между сталеплавильным цехом и отделочными станами.

Благодаря наличию блуминга или слябинга, можно прокатывать слитки большого веса, что дает возможность вести плавку



в печах большого тоннажа. Прокатывая слитки в заготовки небольших сечений на блуминге (совместно с заготовочными станами), можно сократить число пропусков в отделочных станах, повышая производительность последних.

В соответствии с такой схемой технологического процесса прокатный цех делится на две части: заготовочную, в которой получаемые из сталеплавильного цеха слитки прокатываются в блумы, слябы и заготовки, и отделочную, в которой из полуфабрикатов получают готовые изделия. Имеются, конечно, и отклонения от этой основной структуры, но они не характерны.

### 3. СОРТАМЕНТ ПРОКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

#### Классификация по профилям и размерам

Профилем прокатанного изделия называется форма его поперечного сечения. Совокупность профилей и их размеров, получаемых прокаткой на данном стане или на группе станов, называется сортаментом.

Сортамент прокатываемых изделий весьма разнообразен. Их можно разделить на следующие четыре группы: 1) сортовой металл, 2) листовой металл, 3) специальные виды проката (бандажи, колеса, оси) и 4) трубы.

#### Сортовой металл

Профили сортового металла разделяются на две группы. К первой группе относятся профили с простой геометрической формой: полосовая, круглая и квадратная сталь; ко второй — так называемые фасонные профили, представляющие комбинации простых профилей.

Полосовая сталь (рис. 1, а). Ширина колеблется от 12 до 200 мм, толщина — минимальная 4 мм, максимальная 60 мм, в зависимости от ширины.

Круглая сталь (рис. 1, б). Диаметр находится в пределах 8—225 мм. В особых случаях диаметр может достигать 300 мм. Эти размеры круглой стали относятся к так называемому сортовому металлу. Кроме того, имеются еще две разновидности круглой стали: 1) трубная заготовка для производства бесшовных труб; диаметр ее колеблется от 50 до 350 мм; 2) катаная проволока, или просто катанка, диаметром от 5 до 9 мм.

Квадратная сталь (рис. 1, в) со стороной квадрата от 8 до 150 мм. В отдельных случаях верхний предел увеличивается. Как на разновидность квадратного профиля следует указать на блумы и заготовки, имеющие форму квадрата со скругленными углами.

Угловая сталь, равнобокая и неравнобокая (рис. 1, г и 1, д). Размеры полок: равнобокой стали от 20 × 20 до 200 × 200 мм, неравнобокой от 30 × 20 до 200 × 150 мм.

Двутавровые балки нормальные (рис. 1, е). Высота находится в пределах 80—600 мм. Уклон полок 14%.

Широкополочные двутавровые балки (рис. 1, ж). Такие балки прокатываются высотой от 100 до 1000 мм. Полки этих балок параллельны или с уклоном в 9%.

Швеллеры (рис. 1, з) высотой от 50 до 450 мм.

Рельсы (рис. 1, и) — железнодорожные для широкой и узкой колеи и рудничные. Профиль рельса характеризуется весом

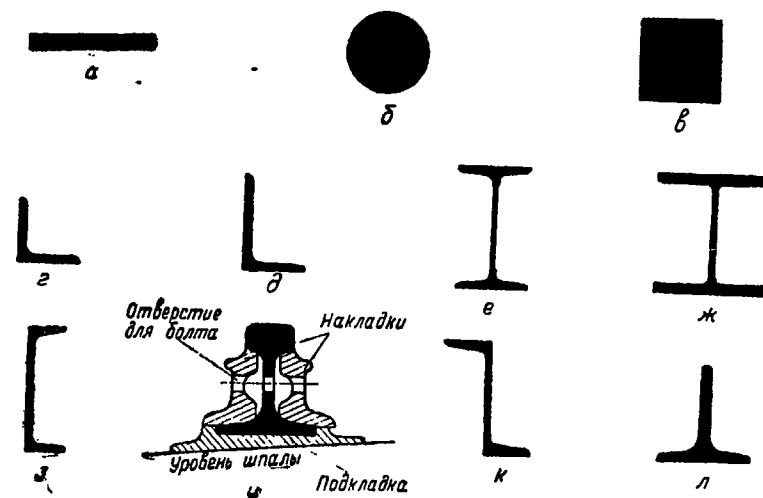


Рис. 1. Сортамент прокатываемых профилей

1 пог. м. Вес 1 пог. м рельсов для железных дорог широкой колеи  $30 \div 75$  кг, рельсов железных дорог узкой колеи и рудничных —  $6,25 \div 24$  кг.

Полоса для рельсовых креплений — накладок и подкладок (рис. 1, и). Накладки служат для соединения двух соседних рельсов, подкладки — опорами рельсов на шпалах.

Зетовая сталь (рис. 1, к). Высота от 60 до 200 мм.

Тавровая сталь (рис. 1, л). Подошва имеет ширину от 20 до 380 мм.

Заготовка для сварных труб. Ширина от 50 до 305 мм, толщина от 2,5 до 15 мм.

Горячекатаная лента. Наименьшая ширина — 20 мм, наибольшая — 600 мм. Толщина — от 0,8 до 4 мм.

#### Листовой металл

Листовая сталь толстая и тонкая. Размеры толстолистовой стали: ширина от 600 до 3000 мм, толщина от 4 до 60 мм. В особых случаях (судовая броня и др.) ширина может

достигать 4800 мм, толщина 450 мм. Размеры тонколистовой стали: ширина от 508 до 2200 мм, толщина от 0,20 до 3,75 мм.

Универсальная, или широкополосная, сталь — ширина от 200 до 1500 мм при толщине от 4 до 60 мм.

### Классификация по качеству

Качественная характеристика сталей весьма различна и определяется по: 1) химическому составу, 2) механическим свойствам, 3) применению и назначению к дальнейшей обработке.

По химическому составу различают сталь двух основных классов — углеродистую сталь, представляющую сплав железа с углеродом, и легированные стали, в которых, кроме указанных двух основных, имеется еще один или несколько легирующих элементов — никель, хром, вольфрам, молибден, ванадий и др.; к ним относятся также марганец и кремний, если они содержатся в большем количестве, чем в обыкновенных сталях.

По механическим свойствам стали характеризуются двумя показателями: пределом прочности при растяжении в  $\text{кг/мм}^2$  и удлинением в процентах. Эта классификация охватывает рядовой металл с пределом прочности при растяжении от 32 до 85  $\text{кг/мм}^2$  и удлинением от 7 до 28% (длина образца для испытания берется равной десяти его диаметрам:  $l = 10d$ ).

Применяются и другие виды механических испытаний для отдельных марок стали: на твердость, на ударную вязкость и др.

По применению и назначению к дальнейшей обработке стали делятся на три основные категории: конструкционные, инструментальные и специального назначения.

На такие категории можно подразделить каждую из групп, на которые делятся стали по химическому составу. Следовательно, по двум этим признакам можно получить 6 групп.

## ГЛАВА I

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

#### 1. Общее устройство прокатного стана

Основной частью прокатного стана является рабочая клеть. В ней помещаются прокатные валки (рис. 2), вращение которым передается от двигателя через шестеренные валки. Прокатные валки соединяются с шестеренными при помощи шпинделей и муфт.

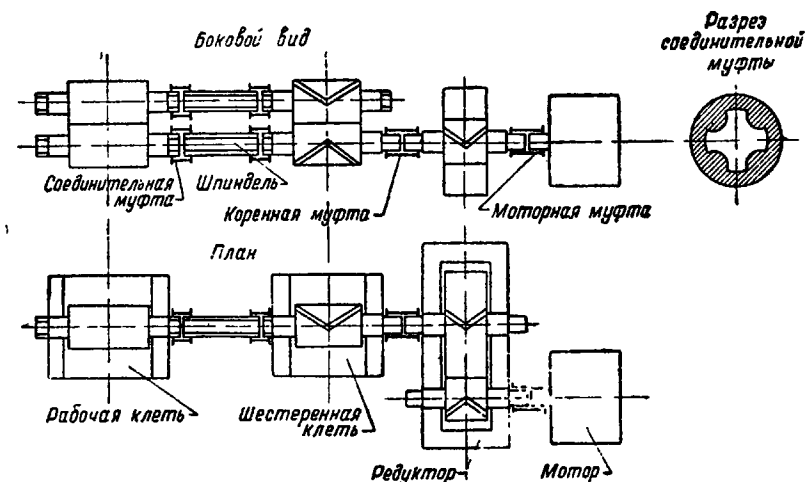


Рис. 2. Схема прокатного стана

Концы валков и шпинделей имеют крестообразное сечение (трефы), а муфты делаются с полостью такого же сечения.

В качестве двигателя чаще всего применяется электромотор с числом оборотов, более высоким, чем у валков. Между двигателем и шестеренной клетью устанавливается редуктор для понижения числа оборотов от двигателя к стану. Если числа оборотов валков и двигателя одинаковы, редуктор не устанавливается. У некоторых станов каждый валок приводится во вращение от отдельного мотора. В этих случаях отпадает необходимость и в редукторе, и в шестеренной клетке.

## 2. Вспомогательные механизмы, обслуживающие прокатные станы

Вспомогательные механизмы служат для перемещения прокатываемой полосы в продольном и поперечном направлениях, для подъема и опускания полосы при прокатке в станах трио, для кантовки полосы на 90 или 180°.

Для продольного перемещения полосы от одной клетки к другой и для подачи полосы в валки служат роляганги, состоящие из ряда роликов, приводимых во вращение от одного электромотора через конические шестерни или от ряда электромоторов отдельно для каждого ролика (рис. 3, а).

Поперечное перемещение полосы в большинстве случаев осуществляется шлепперами, представляющими собой ряд тележек (рис. 3, б) с вертикальными пальцами; при движении в одном

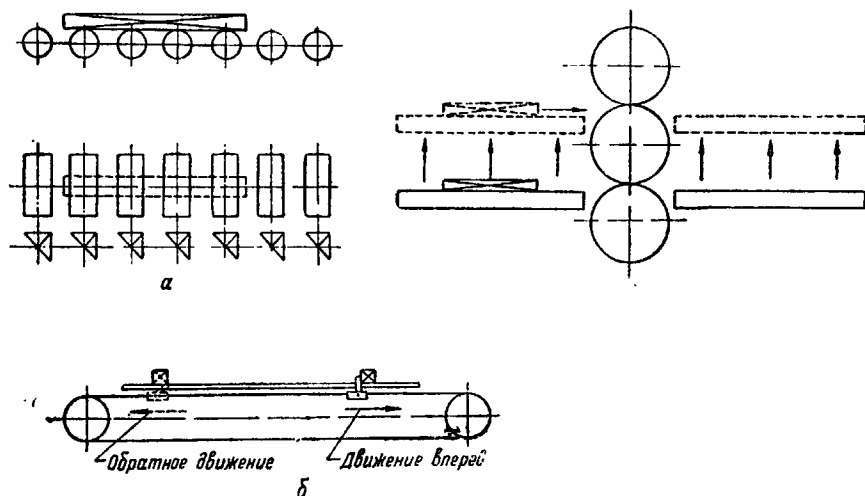


Рис. 3. Вспомогательные механизмы, обслуживающие прокатные станы

направлении пальцы упираются в полосу и перемещают ее, при движении в обратном направлении палец, встречая полосу, откидывается вниз и проходит под ней. Тележки передвигаются посредством канатов, которые навиваются на барабаны, сидящие на валу, приводимом во вращение мотором.

При прокатке в станах трио полосы поднимаются и опускаются подъемными и качающимися столами (рис. 3, в). В некоторых случаях столы могут передвигаться вдоль ряда клеток, перемещая полосу в поперечном направлении.

Остальные механизмы описаны ниже, при рассмотрении процессов прокатки на отдельных станах.

## 3. Классификация прокатных станов по конструкции

По конструкции прокатные станы разделяются на следующие пять основных групп: дуо, трио, кварто, многовалковые и универсальные.

Станы дуо имеют два рабочих валка. Станы этого типа бывают двух видов: с постоянным направлением вращения валков и с переменным направлением вращения валков — реверсивные станы.

Станы дуо с постоянным направлением вращения валков и с несколькими пропусками в одной клетке (рис. 4, а).

Хотя станы дуо были известны еще в XVI веке, широкое применение их началось с 1784 г., когда был построен первый стан с толстыми валками, с приводом от паровой машины. В течение почти целого столетия он имел сначала исключительное, а затем преимущественное распространение. В этом стане прокатываемая полоса в одном направлении пропускается между валками, а затем в противоположном направлении вхолостую передается через верхний валок на переднюю сторону стана, после чего цикл повторяется несколько раз до получения заданного профиля.

При такой прокатке получаются большие потери времени на паузы, вследствие чего этот тип стана дуо постепенно был вытеснен другими — дуо реверсивным и трио. В настоящее время этот стан применяется для прокатки тонких листов, но в недалеком будущем применение его, очевидно, прекратится.

Стан дуо с постоянным направлением вращения валков, с одним пропуском в каждой клетке, был впервые предложен в 1862 г. для непрерывной прокатки проволоки, почему получил название непрерывного. Развитие непрерывных станов

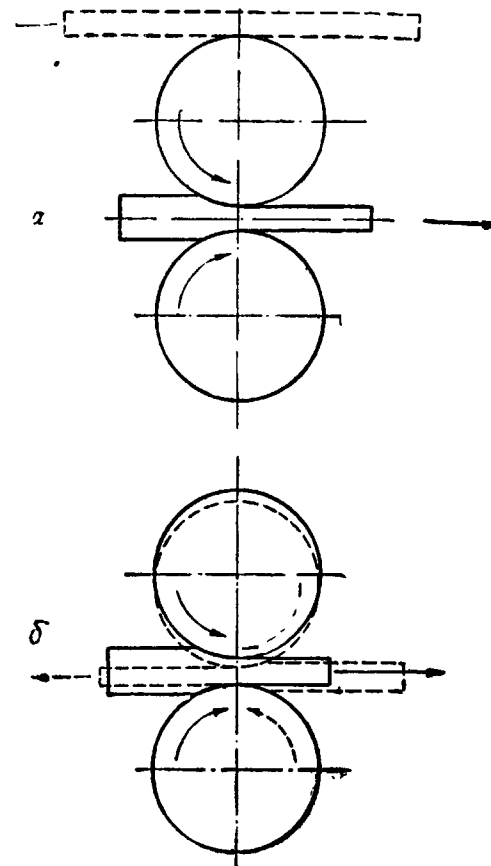


Рис. 4. Станы дуо

началось несколько позже — с 90-х годов прошлого столетия и особенно с 20-х годов текущего столетия. Для прокатки заготовки, проволоки и тонких листов этот тип стана стал основным.

Станы дуо с переменным направлением вращения валков, или реверсивные (рис. 4, б). В этих станах прокатываемая полоса обжимается при движениях вперед и назад, причем после каждого пропуска направление вращения валков меняется. Стан этого типа получил развитие с конца прошлого столетия. Развитие его продолжается до настоящего времени.

Кроме того, имеется группа станов дуо, в которых процесс прокатки имеет несколько иной характер, чем в предыдущих станах. К этой группе относятся прошивные трубные, валки которых вращаются в одном направлении (рис. 14, 15, а, 15, б), раскатные трубные — для сварных и цельнокатаных труб (рис. 13, 16), бандаж-прокатные и колесопрокатные (рис. 12, а, 12, б).

Станы двойное дуо (рис. 5)

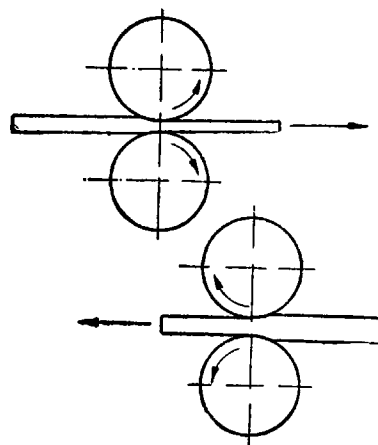


Рис. 5. Стан двойное дуо

имеют четыре валка, расположенных попарно. Они являются как бы комбинацией двух клеток с валками, вращающимися попарно в противоположных направлениях. На станах двойное дуо получают более точные размеры прокатываемых профилей, что достигается независимой настройкой каждой пары валков. В этом заключается их преимущество перед станами трио (см. ниже). Недостаток станов двойное дуо — сложность и громоздкость, вследствие чего они не получили большого развития.

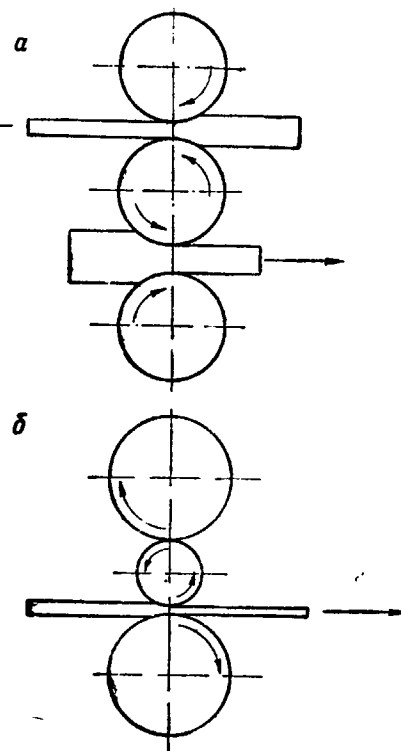


Рис. 6. Станы трио

Станы трио (рис. 6, а). Впервые были применены в 1857 г. В настоящее время имеют наибольшее распространение. В них полоса в одном направлении движется между нижним и средним валками, в обратном — между средним и верхним. Калибры на валках этих станов размещены более удобно, так как на них можно разместить больше ручьев, чем на валках клетки дуо. Недостатки станов трио: более трудная, чем на станах дуо, настройка валков, так как оба ряда ручьев связаны с одним средним валком; средний валок изнашивается быстрее остальных двух, работающих попеременно; для подачи полосы в верхний ряд калибров требуются подъемные средства — столы и крючки. Разновидности стана трио:

1) Станы трио Лаута (рис. 6, б) применяются для прокатки листов толщиной от 3 мм и больше. У этих станов диаметр среднего валка меньше диаметра нижнего и верхнего валков. Средний валок вращается благодаря трению, возникающему между ним и одним из двух других. Он перемещается в вертикальном направлении после каждого пропуска и прижимается к верхнему или нижнему валку.

2) Станы переменное дуо (рис. 7) конструируются таким образом, что в каждой нечетной клетке нижний и средний

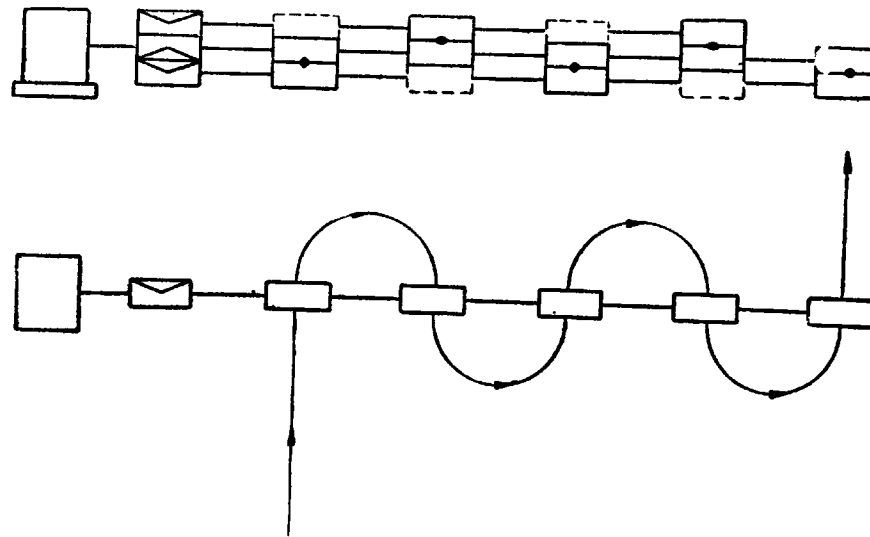


Рис. 7. Стан переменное дуо

валки являются рабочими, верхний — холостым, а в четных клетках холостым валком является нижний, два остальных — рабочими. В каждой клетке полоса пропускается только один раз. Таким образом, по конструкции — это стан трио, а по методу работы его можно причислить к станам дуо.

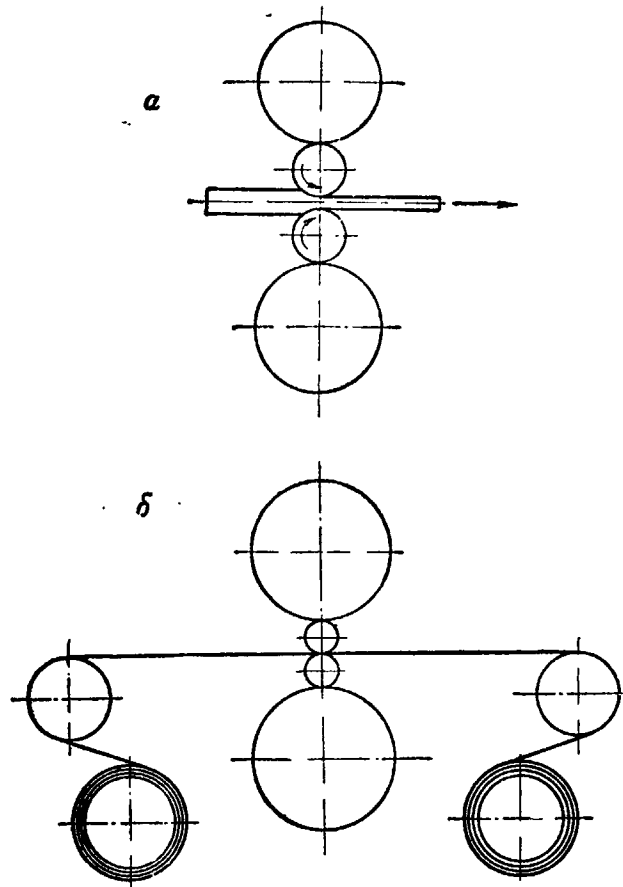


Рис. 8. Станы кварто

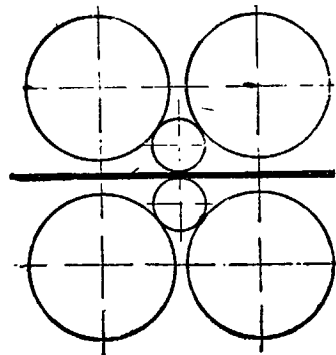


Рис. 9. Шестивалковый стан

Станы кварто, или четырехвалковые (рис. 8, а), имеют два рабочих валка (средних) и два валка опорных (верхний и нижний). Диаметр рабочих валков меньше диаметра опорных. Следовательно, по методу работы эти станы одинаковы со станом дуо: если валки имеют постоянное направление вращения, то полоса в них пропускается только один раз; если же необходимо в одной клети иметь больше пропусков, то надо передавать прокатываемый материал на переднюю сторону стана или реверсировать валки. В зависимости от условий, пользуются обоими способами. Эти станы широко применяются для горячей и холодной прокатки тонких листов и ленты, а в последнее время — и для прокатки толстых листов.

По системе кварто валки располагаются также в станах (рис. 8, б), на которых производится холодная прокатка ленты в неприводных валках. Лента протягивается между валками, наматываясь на барабан, приводимый во вращение сильным двигателем. После пропуска в одном направлении лента прокатывается в обратном направлении, наматываясь на другой барабан, и т. д.

Шестивалковые станы (рис. 9) имеют два рабочих и четыре опорных валка. Жесткость установки рабочих валков в этих станах

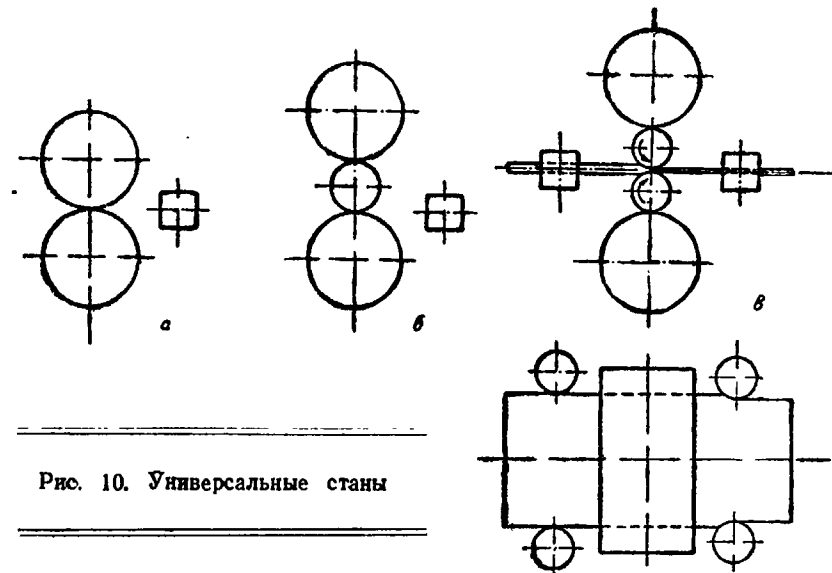


Рис. 10. Универсальные станы

больше, чем в станах кварто, благодаря чему размеры ленты получаются более точными.

Встречаются станы и с большим числом валков, достигающим до 20 (так называемые многовалковые станы).

Универсальные станы отличаются от указанных выше наличием вертикальных валков. В этих станах полоса обжимается од-

новременно в вертикальном (горизонтальными валками) и горизонтальном направлениях (вертикальными валками). Универсальные станы могут быть системы дуо (рис. 10, а), трио (рис. 10, б) и кварто (рис. 10, в). Вертикальные валки располагаются с одной

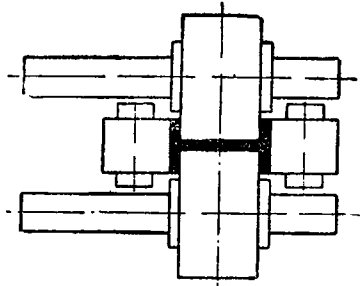


Рис. 11. Универсальный балочный стан

стороны стана (см. рис. 10, а) или с обеих сторон (см. рис. 10, б), а иногда также между шейками валков (рис. 11), как это делается в клетях универсальных балочных станов.

#### 4. Классификация прокатных станов по назначению

**Блуминги и слябинги.** Эти станы предназначены для прокатки слитков в бумы и слябы. Вес слитков колеблется от 2 до 20 т. Эти станы конструируются, преимущественно, как реверсивные дуо, состоящие из одной клетки. Слябинги конструируются, как универсальные станы.

**Обжимные станы трио** в настоящее время устанавливают для прокатки слитков небольшого веса, примерно около 1000 кг. Иногда применяют обжимные станы трио с подъемом верхнего и среднего валков для прокатки слитков весом до 2,5 т.

**Заготовочные станы** прокатывают заготовку размером от  $150 \times 150$  мм и ниже — до наименьшего размера  $38 \times 38$  мм, из блумов, получаемых от блумингов или, реже, непосредственно из слитков.

**Рельсобалочные станы.** На них прокатывают, главным образом, железнодорожные рельсы, двутавровые балки высотой от 180 до 600 мм, швеллеры высотой от 180 до 450 мм.

**Сортовые станы.** Это — наиболее многочисленная группа, так как охватывает станы с большим диапазоном по сортаменту и диаметрам валков. На этих станах прокатывают всю так называемую сортовую сталь — крупную, среднюю и мелкую. В соответствии с этим станы часто делятся на крупносортовые (диам. 750—500 мм), среднесортные (диам. 500—350 мм) и мелкосортные (диам. 350—200 мм).

Необходимо отметить, что станы обычно характеризуются диаметром валков. Так, если стан имеет валки диаметром 700 мм, то говорят: «стан 700», причем, если стан имеет клетки с валками разных размеров, то наименование стану дают по диаметру валков последних клеток.

**Проволочные станы** применяются для прокатки проволоки диам. 5—9 мм. Диаметр валков последних клеток чаще всего равен 250 мм. Клетки этих станов проектируются, как дуо непрерывные и как переменное дуо.

Станы для прокатки заготовки для сварных труб и ленты конструируются как станы дуо непрерывные и двойное дуо.

**Универсальные станы** применяются для обжима слитков в слябы (слябинги), для прокатки универсальной стали шириной от 200 до 1500 мм и для прокатки широкополочных балок.

**Толстолистовые станы** применяются для прокатки толстых листов. Наиболее часто они состоят из одной клетки трио Лаута, реже из реверсивной дуо, реверсивной кварто или же из комбинации реверсивной клетки дуо и клетки трио Лаута или кварто.

**Среднелистовые станы** по назначению и конструкции аналогичны толстолистовым, отличаясь от них меньшими размерами валков, в соответствии с чем прокатывают и меньшие размеры листов.

**Тонколистовые станы** прокатывают тонкие листы и разделяются на две основные категории: непрерывные станы с клетями кварто и неререверсивные дуо.

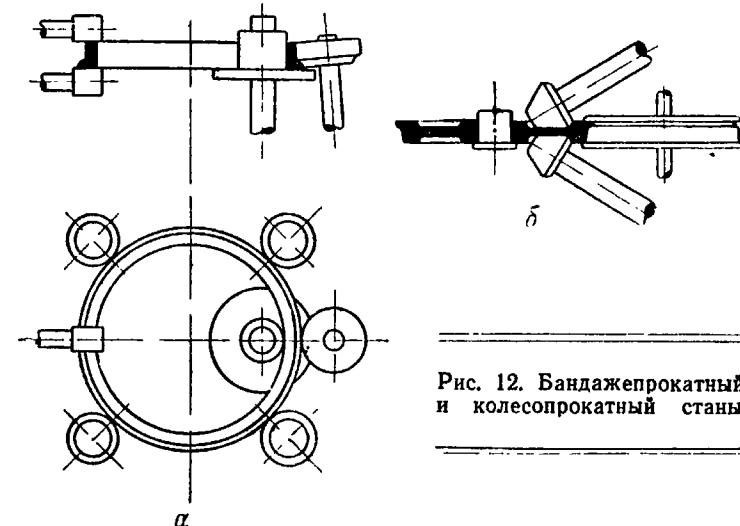


Рис. 12. Бандажепрокатный и колесопрокатный станы

Бандажепрокатные станы применяются для прокатки бандажей (рис. 12, а). Валки располагаются горизонтально или вертикально. Один из валков может передвигаться гидравлически

или пневматически. Просвет между валками уменьшается постепенно. Во время прокатки бандаж направляется роликами.

Колеопрокатные станы служат для прокатки вагонных колес. По конструкции они аналогичны бандажепрокатным, отличаясь от них вспомогательными валками и роликами (рис. 12, б).

Станы для прокатки сварных труб обычно состоят из одной клетки с валками дуо, имеющими круглый калибр, соот-

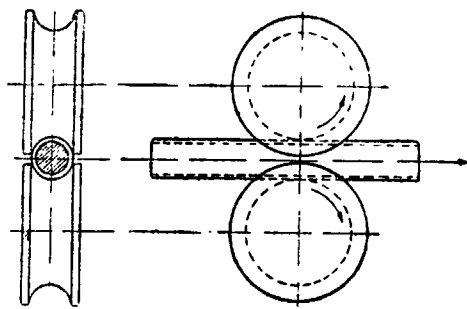


Рис. 13. Стан для прокатки сварных труб

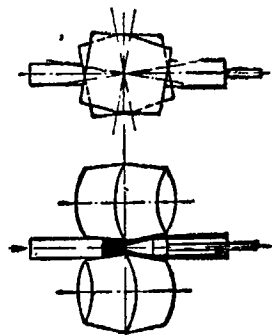
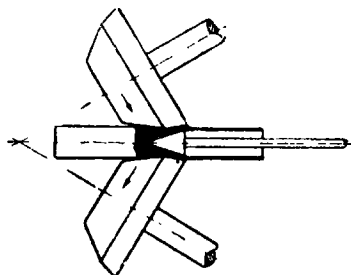


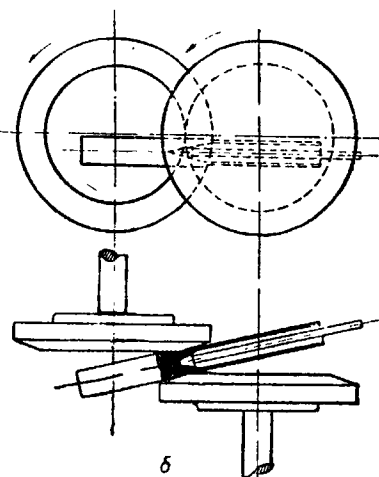
Рис. 14. Прошивной стан с косо расположенными валками

ветствующий наружному диаметру труб (рис. 13). Внутренний диаметр определяется размером пробки, вставленной на штанге в калибр.

Стан для прошивки слитков в трубные заготовки (гильзы) имеет два косо расположенных валка (рис. 14) с коническими



а



б

Рис. 15. Станы Штифеля

поверхностями, вращающимися в одном направлении. Заготовка одновременно совершает поступательное и вращательное движе-

ния; вследствие этого последнего, внутренняя часть заготовки разрыхляется, образуя полость, которая при надвигании на пробку расширяется.

Станы Штифеля применяются для прошивки гильзы из круглых заготовок и имеют косо расположенные валки — грибовидные (рис. 15, а), дисковые (рис. 15, б) и бочкообразные.

Станы для раскатки трубных гильз, получаемых из слитков на прошивных станах, имеют валки с поверхностями разных радиусов и выемками (рис. 16.) В тот момент, когда выступы валков подходят к трубе, надетой на оправку, они захватывают ее и обжимают на некотором участке, в то же время передвигая трубу назад. Когда к трубе подходят выемки валков, труба вместе с оправкой подается вперед особым аппаратом и кантуется на 90°. Затем вновь подходят выступы валков, и процесс повторяется.

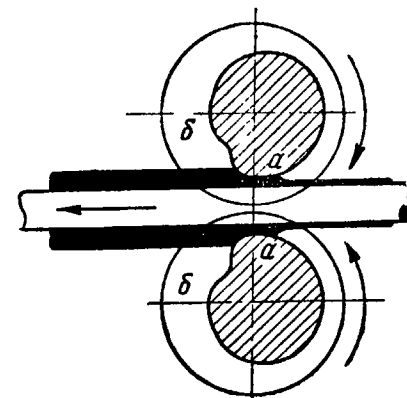


Рис. 16. Стан для раскатки трубных гильз

## 5. Классификация прокатных станов по расположению клеток

Наиболее простой стан имеет одну клетку, в которой производится процесс прокатки от начала до конца. В этом случае стан состоит из трех основных частей: рабочей клетки, шестеренной клетки и двигателя (рис. 17, а). Все эти части стана располагаются в одну линию. В настоящее время такое расположение применяется только в следующих случаях: для обжимных станов дуо реверсивных (блумингов и слябингов) и трио; для толстолистовых и среднелистовых станов, для универсальных станов, для трубопрокатных и специальных станов — бандажепрокатных, колеопрокатных и пр. Так как на валках, помещающихся в одной клетке, не всегда можно было разместить все необходимые калибры, то стали применять станы, состоящие из двух, трех и большего числа клеток (рис. 17, б), расположенных также в одну линию. Такое расположение клеток применяется часто и в настоящее время, а именно в следующих случаях: для рельсобалочных и крупносортовых станов; для тонколистовых станов дуо (следует, однако, отметить, что эти последние станы иногда состоят из одной клетки).

Расположение всех клеток в одну линию связано с рядом неудобств при прокатке сортового металла: 1) валки всех клеток имеют почти одинаковую окружную скорость; если эту скорость принять для валков обжимной линии, то она будет недостаточной для чистовой линии; если же ее принять для валков чистовой

линии, то скорость для обжимной клетки будет велика, и прокатка будет затрудняться; 2) иногда приходится вынужденно применять

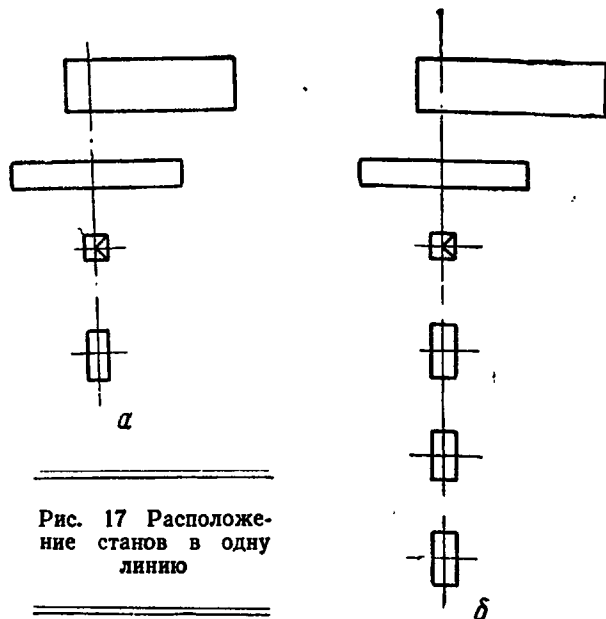


Рис. 17 Расположение станов в одну линию

для некоторых клеток валки больших диаметров, чем требуется.

Поэтому в дальнейшем стали располагать клетки в две линии — обжимную и чистовую (рис. 18), благодаря чему достигается

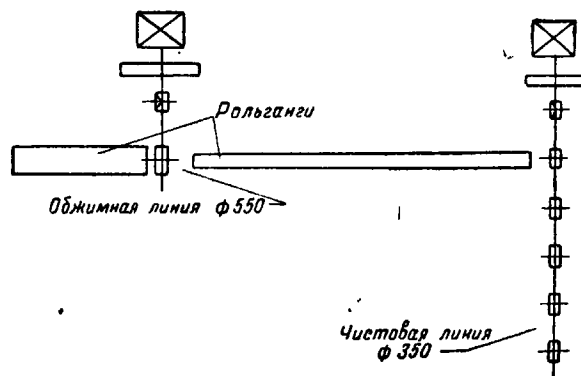


Рис. 18 Расположение стана в две линии

улучшение, которое заключается в дифференциации скоростей прокатки и диаметров валков.

Для некоторых случаев прокатки применили еще большую дифференциацию, располагая клетки в три, четыре и даже пять линий. Такое расположение применяется для проволочных (рис. 19), на-

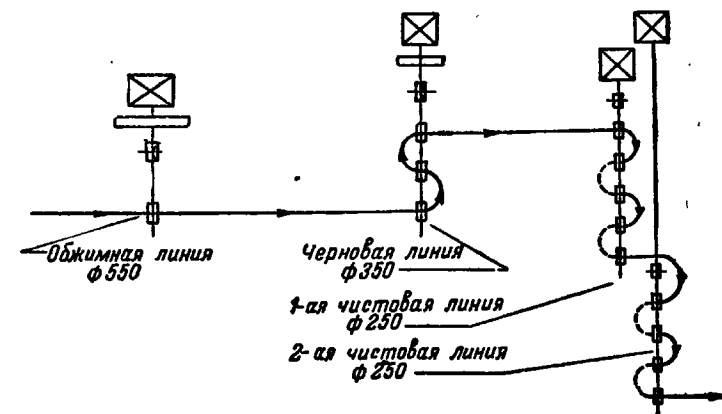


Рис. 19. Расположение стана в четыре линии

более быстроходных мелкосортных, а также для рельсобалочных станов.

Все приведенные выше схемы имеют в виду станы с расположением одной или нескольких клеток в одну линию, в которых

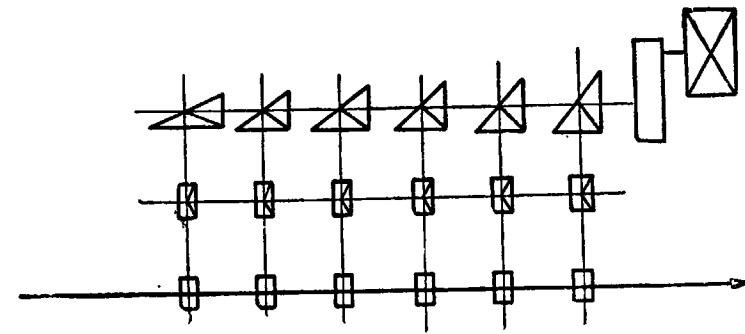


Рис. 20. Непрерывный стан

прокатываемая полоса передвигается от калибра к калибру параллельно. Поэтому подобное расположение клеток называют «параллельным», хотя такое название нельзя считать вполне точным: термин применим к расположению станов в несколько параллельных линий, клеткам же, расположенным в одну линию, скорее применим термин «линейное расположение».



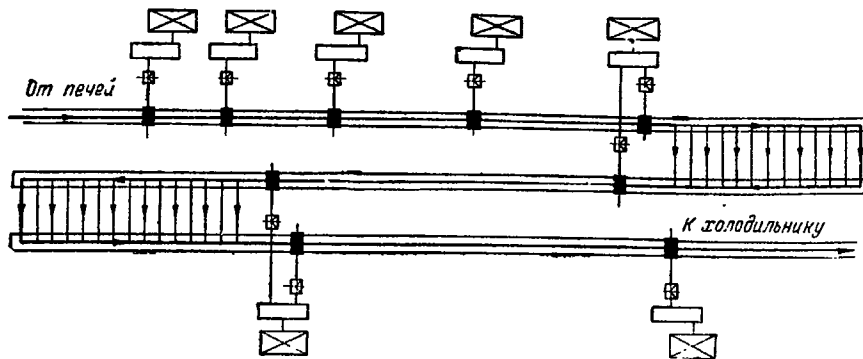


Рис. 21. Стан с последовательным расположением клеток в три ряда

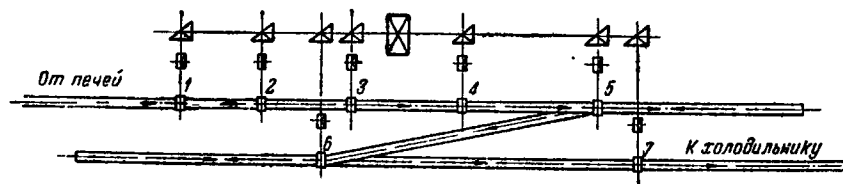


Рис. 22. Стан с последовательным расположением клеток в два ряда

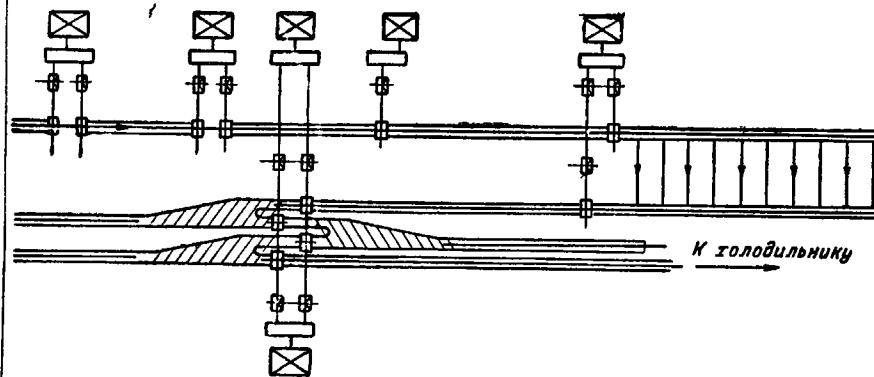


Рис. 23. Стан шахматного типа

Дальнейшее развитие станов пошло в направлении такого расположения клеток, при котором полоса передвигается от клетки к клетке последовательно. Последовательное расположение применяется: 1) в станах, в которых полоса прокатывается непрерывно, находясь одновременно в двух и более клетках; такие станы называются непрерывными (рис. 20); 2) в станах, в которых клетки расположены последовательно, но полоса находится только в одной клетке; в них клетки располагаются в два или три параллельных ряда (рис. 21 и 22).

Разновидностью станов, приведенных на рис. 21 и 22, является стан, в котором несколько последних клеток (большой частью четыре) имеют шахматное расположение (рис. 23).

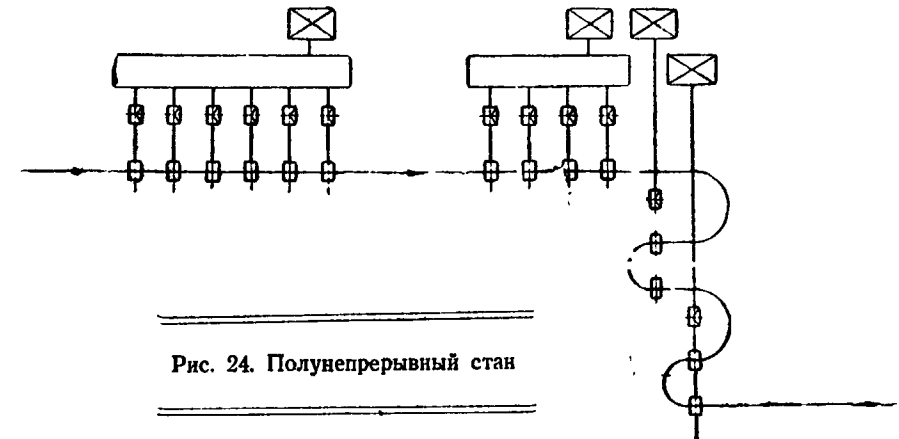


Рис. 24. Полунепрерывный стан

Комбинированное расположение клеток, при котором черновая часть представляет непрерывный стан, а чистовая — обычный стан для прокатки полосой или петлей, применяется для прокатки мелкосортного металла или проволоки. Такие станы называются полунепрерывными (рис. 24).

## ГЛАВА 2

## ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ

Основная задача калибровки валков заключается в получении металла точного профиля с правильными размерами и надлежащего качества. Попутно решается также задача достижения возможно высокой производительности и снижения себестоимости готового продукта.

Решение упомянутой основной задачи калибровки зависит от многих факторов, главные из которых — правильный выбор обжатия в отдельных пропусках и надлежащее использование температуры прокатываемого металла. Величина обжатия в наибольшей степени влияет на получение точных размеров. Правильный выбор ее обеспечивает хорошее заполнение калибров и нормальный износ валков, который имеет важное значение в последних пропусках. При чрезмерно больших обжатиях в конце прокатки валки сильно вырабатываются, вследствие чего размеры профиля получаются неправильные.

Влияние температуры на точность профиля обычно сказывается в случае понижения ее до величины ниже нормальной для данных условий прокатки. Поэтому здесь приобретают особо важное значение такие факторы, как длина прокатываемой полосы, скорость прокатки и распределение обжатий. Наибольшие обжатия приходятся на начальные пропуски, когда металл имеет высокую температуру.

Калибровка оказывает существенное влияние на качество металла в отношении чистоты поверхности прокатываемых изделий, получения металла с минимальными внутренними напряжениями, без плен, царапин и трещин.

## 1. Основные понятия и определения

Прокатка полосы может производиться в валках гладких или ручьевых. Ручьем называется профиль очертания выреза на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев пары валков образует калибр (рис. 25). Разделом калибра называется место, где линия профиля переходит с одного валка на другой. Калибр получается открытым при линиях ограничения раздела, параллельных оси валков, и закрытым, когда эти линии перпендикулярны или наклонны к оси валков.

При прокатке поверхность валков вырабатывается и через некоторые промежутки времени они требуют переточки. Если боковые стенки калибра образуют угол  $90^\circ$  с осью валков, то восстановить первоначальную ширину калибра невозможно. Поэтому угол  $\alpha$  (рис. 25) делают меньше  $90^\circ$  на величину, различную для разных

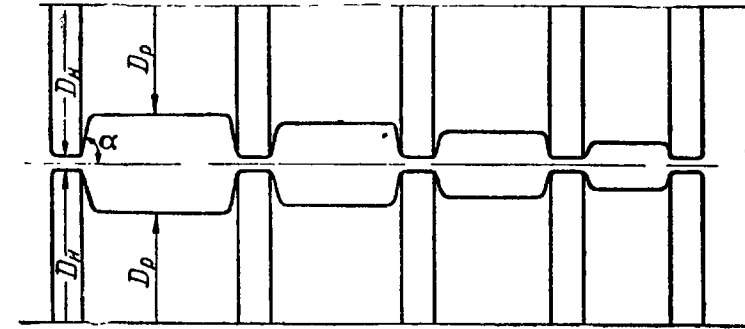


Рис. 25. Валки с калибрами:

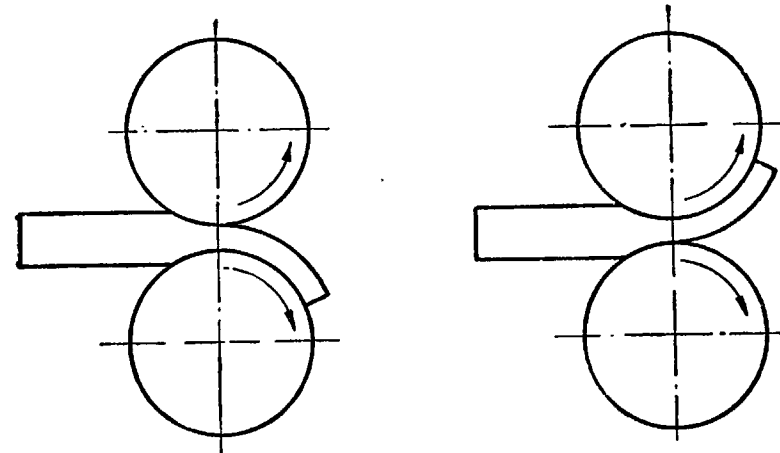
 $D_n$  — номинальный диаметр,  $D_p$  — рабочий диаметр

Рис. 26. Верхнее и нижнее давление

станов. Стенки калибра получаются конусными и образуют «выпуск», необходимый для восстановления первоначальной ширины калибра.

В большинстве случаев валки устанавливаются с зазором между ними, величина которого составляет 0,5—1% от диаметра валков. Первая цифра относится к мелкосортным станам, вторая — к обжимным и крупносортным. Во время прокатки полосы зазор

между валками увеличивается, вследствие неплотности прилегания деталей клетки и возникающих в них упругих деформаций, а также вследствие изгиба валков.

В ручевых валках различают диаметры номинальный и рабочий (рис. 25). Обычно рабочие диаметры двух валков делаются неодинаковыми. Прокатка ведется с так называемым «верхним давлением», если катающий (рабочий) диаметр верхнего валка больше рабочего диаметра нижнего валка, и с «нижним давлением», если диаметр верхнего валка меньше диаметра нижнего. При верхнем давлении конец полосы загибается вниз, при нижнем — вверх (рис. 26). Это обстоятельство имеет важное значение при установке проводок (см. ниже).

## 2. Форма калибров

Калибры разной формы по назначению разделяются на три основные группы: обжимные, черновые и чистовые.

По форме различают обжимные и черновые калибры следующих видов: ящичные, стрельчатые, ромбические, квадратные, овальные и фасонные.

Ящичные, или прямоугольные калибры (рис. 27, а) являются простейшими по форме и имеют наибольшее распро-

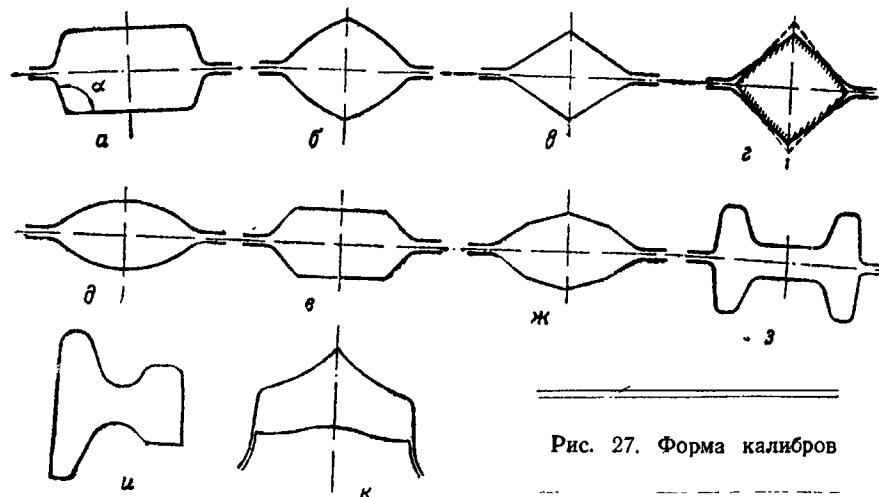


Рис. 27. Форма калибров

странение. Они применяются в обжимных и черновых станах. Наименьший их размер примерно  $75 \times 75$  мм, в редких случаях  $60 \times 60$  мм. Основной недостаток ящичных калибров заключается в том, что в них полоса одновременно обжимается только с двух сторон, а две другие стороны не обжимаются, вследствие чего возникают значительные растягивающие напряжения. Недостат-

ком этих калибров является также то, что первоначальную их ширину не всегда можно восстановить, в особенности при недостаточном выпуске и прокатке с значительным уширением, когда бока калибров сильно вырабатываются.

Стрельчатые калибры (рис. 27, б) имели большое распространение в прошлом веке, в особенности при обжиге пудлинговых пакетов. Существенный недостаток их заключается, во-первых, в необходимости кантовать полосу на  $90^\circ$  после каждого пропуска, во-вторых, в частом свертывании полосы. Вследствие этого, они были постепенно вытеснены калибрами других форм.

Ромбические калибры (рис. 27, в) представляют видоизмененные стрельчатые, в которых профиль калибра образован прямыми линиями. Недостатки стрельчатых калибров присущи и ромбическим, хотя и в меньшей степени. Но они незаменимы во

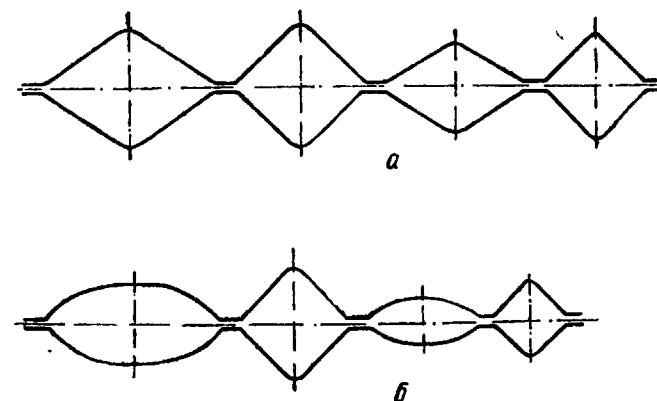


Рис. 28. Системы калибровки ромб — квадрат и овал — квадрат

многих случаях, а именно: 1) как предчистовые для получения квадратного профиля с точными размерами; 2) как черновые калибры, в виде последовательного ряда, когда требуется получить достаточно большое число квадратов, что достигается путем пропуска полосы через один ромбический калибр дважды (рис. 27, г); 3) как черновые калибры в соединении с квадратными в системе калибровки ромб — квадрат (рис. 28, а).

Квадратные калибры служат для получения окончательного квадратного профиля. В практике к квадратным калибрам относятся и те, которые применяются как черновые и подготовительные с углом при вершине несколько большим  $90^\circ$  (часто этот угол равен  $93^\circ$ ) в системе калибровки ромб — квадрат (рис. 28, а) и овал — квадрат (рис. 28, б).



В большинстве случаев установка верхнего валка осуществляется нажимными винтами  $d$ , вращающимися вручную или с помощью мотора в гайках, которые помещаются в верхних поперечинах  $e$  станин. Для постоянного прижатия валка к нажимным винтам он уравновешивается четырьмя пружинами  $ж$ , которые соединяются с подушками при помощи тяг.

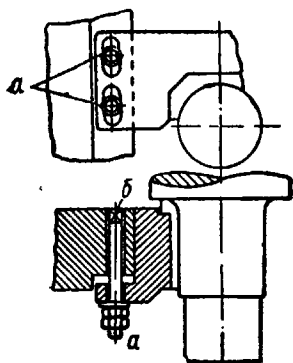


Рис. 31. Устройство для осевого перемещения подушки с валками

Вертикальное перемещение нижнего валка производится нижними клиньями, передвигающимися посредством вращения винтов (рис. 29), или нижними нажимными винтами (рис. 30).

Средний валок в сортовых станах трио обычно не перемещается в вертикальном направлении.

На рис. 31 показано устройство для осевого перемещения подушки с валком, которое осуществляется посредством болтов  $a$ , проходящих сквозь отверстие в станине и упирающихся в выступы этой последней хвостовиками  $б$ . При вращении гаек по направлению к стани-

не подушка вместе с валком начинает передвигаться внутрь станины, причем с противоположной стороны гайки должны быть ослаблены. После необходимого перемещения валка гайки закрепляются.

#### 4. Валки

Прокатные валки изготавливаются из следующих материалов: полутвердого чугуна, твердого или закаленного чугуна, литой стали, ковальной стали.

Каждый из этих классов разделяется на группы в зависимости от того, применяется ли материал как чистый углеродистый или в его состав входят легирующие элементы. В соответствии с этим характеристика валков всех групп такова.

Валки из полутвердого чугуна применяются для предотделочных и отделочных калибров среднесортных и крупно-сортных станов, где ручьи врезаются глубоко в тело валка; твердость углеродистых валков по Бринелю 400, твердость легированных, с содержанием никеля 4,5% и хрома 1,5%, — 575.

Валки из твердого, или закаленного чугуна применяются для мелкосортных, проволочных и листовых станов; углеродистые имеют твердость по Бринелю 500, легированные — от 650 до 700, при таком же содержании никеля, как и у полутвердых валков.

Стальные литые валки применяются в блумингах, обжимных и подготовительных клетях сортовых и листовых станов;

по содержанию углерода делятся на низкоуглеродистые (0,50—0,80% С), среднеуглеродистые (0,80—1,20% С) и высокоуглеродистые (> 1,20% С).

Стальные кованные валки применяются, во-первых, в тех же случаях, что и стальные литые, но при необходимости иметь повышенную прочность; во-вторых, — для станов холодной прокатки. Для последних валки изготавливаются легированные с добавлением хрома и молибдена; твердость 550—650 по Бринелю.

В других случаях сталь для валков как литых, так и кованных применяется также с добавкой легирующих элементов — никеля, хрома и молибдена; в частности для предупреждения появления трещин на поверхности валков блуминга под влиянием нагрева в состав стали, из которой изготавливаются валки, вводится молибден.

Качество валков определяется двумя показателями — прочностью и сопротивлением износу. Последний фактор имеет весьма важное значение для современных высокопроизводительных станов. Хотя изготовление прокатных валков непрерывно совершенствуется, но требования, предъявляемые к высококачественным валкам, еще полностью не удовлетворяются. Во многих случаях недостаточно высокое качество валков тормозит достижение надлежащей производительности прокатных станов.

В процессе прокатки валки вырабатываются и ручьи их подвергаются после этого переточке, а бочки гладких валков — шлифовке. Такая обработка валков производится несколько раз до полного износа, который считается наступившим у чугунных закаленных валков после снятия закаленного слоя глубиной 25—30 мм, у всех остальных валков — после уменьшения диаметра на 10% от первоначального.

Эта последняя величина служит для определения соотношения между диаметрами рабочих и шестеренных валков для станов с постоянной установкой валков во время прокатки. Если обозначить начальный диаметр рабочего валка через  $D_p$ , а диаметр шестеренного валка через  $D_{ш}$ , то можно написать:

$$D_{ш} = \frac{D_p + 0,9 D_p}{2} = 0,95 D_p.$$

#### 5. Валковая арматура

Выше уже говорилось о том, что для получения верхнего или нижнего давления валки изготавливаются разных диаметров. В большинстве случаев прокатку ведут с верхним давлением, при котором конец полосы загибается вниз. Чтобы полоса не «оковала» валка, устанавливают выводную проводку для верхнего валка, поперечное сечение которой соответствует форме ручья

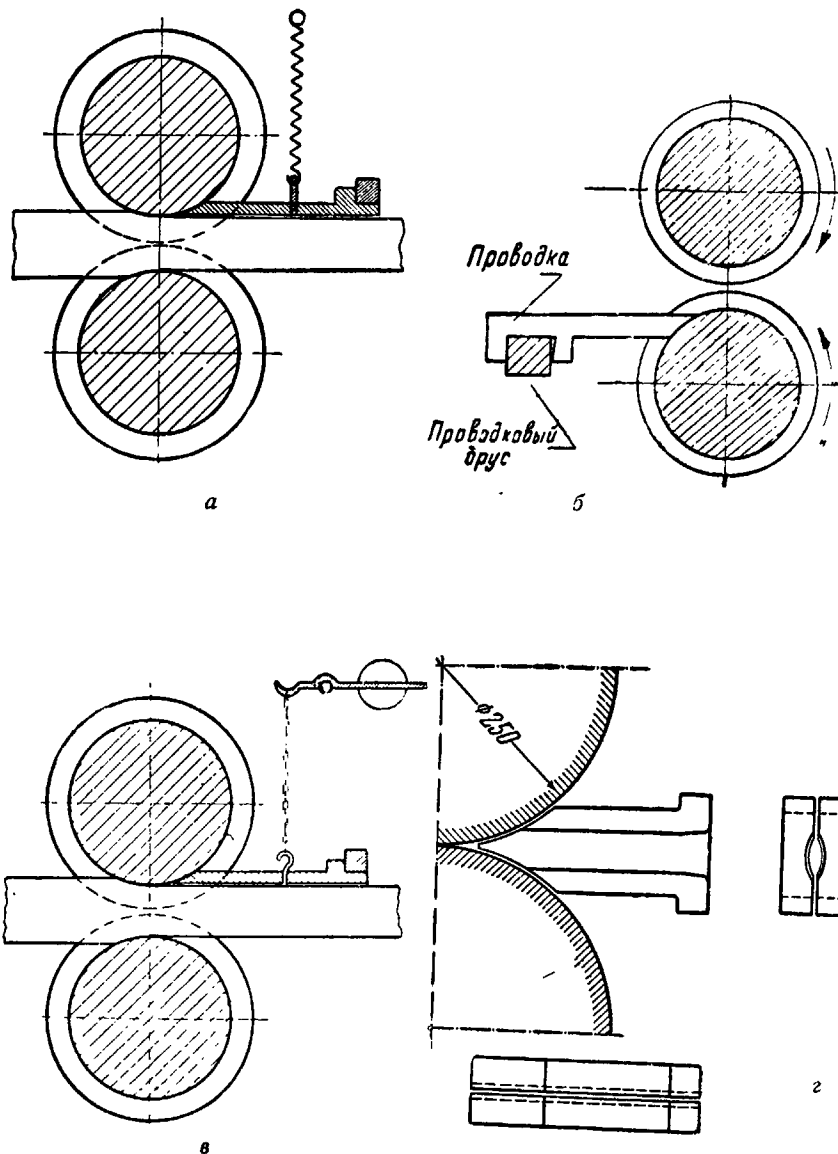


Рис. 32. Валковая арматура:

а — выводная проводка; б — проводковый брус и выводная проводка;  
в — подвесная проводка; г — линейки

(рис. 32,а). Проводки устанавливаются для каждого ручья отдельно на проводковом брус (рис. 32,б), укрепляемом клиньями в специальных прорезах, имеющихся в станинах. Если прокатку ведут с нижним давлением, то устанавливают подвесную выводную проводку (рис. 32,в) Для правильного направления полосы в валки устанавливают вводные проводки со стороны входа и боковые линейки с обеих сторон калибра (рис. 32,г).

## 6. Настройка стана

После смены валков в одной или нескольких клетях необходимо произвести настройку стана, чтобы бесперебойно прокатывать профиль требуемых размеров и формы. При настройке стана необходимо выполнять следующие основные правила:

1. Ось шестеренного валка — нижнего в станах дуо и среднего в станах трио — должна лежать на одной прямой с осями рабочих валков и приводных шпинделей (предполагается, что оси шестеренного валка и главного приводного вала совпадают).

2. Валки в клетях должны лежать горизонтально.

3. Оси всех валков должны находиться в одной вертикальной плоскости.

4. Ручьи каждой пары валков должны образовать правильные калибры с установленным зазором между валками.

5. Шейки валков не должны быть сильно зажаты.

6. Настройка валков должна обеспечивать получение правильного профиля в течение возможно длительного времени.

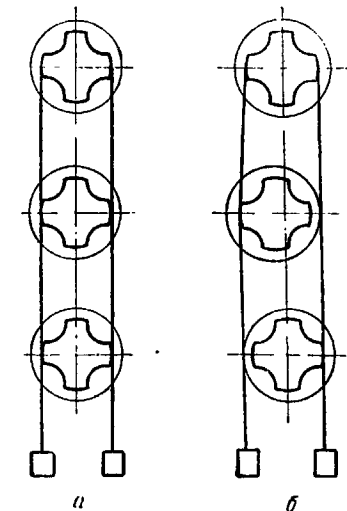


Рис. 33. Метод проверки правильности положения валков

Правильность положения валков и шпинделей проверяется по уровню. Следует заметить, что только в одной линии, например, в станах трио средней, шпиндели имеют горизонтальное положение, в других линиях шпиндели могут иметь несколько наклонное положение, вследствие разницы в диаметрах валков отдельных клетей. Для проверки выполнения третьего правила применяют метод, указанный на рис. 33. На верхний торец набрасывают нить, к концам которой подвешиваются грузы. При правильном положении всех валков (рис. 33, а) нити должны коснуться всех торцов, при неправильном их положении полного совпадения не будет (рис. 33, б).

В случае несоблюдения правила 4 профиль получится неправильный. Если, например, валки сдвинуты один относительно другого в горизонтальном направлении, то при прокатке квадрата, овала или круга получается искажение профиля, как показано на рис. 34. Если зазор между валками меньше требуемого, размеры профиля получаются неправильными, например, квадрат имеет диагонали меньше, чем требуется. Кроме того, вследствие переполнения калибра металлом образуются заусенцы (рис. 35).

Если шейки валков сильно зажаты, то и шейки и вкладыши быстро срабатываются и, кроме того, получается перерасход энергии.

Настройка валков должна производиться таким образом, чтобы стан работал без «перестройки» возможно дольше. В течение

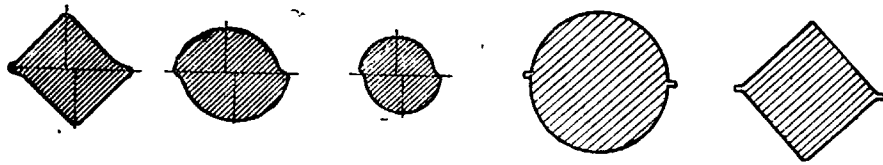


Рис. 34. Искажение профиля круглой и квадратной стали

Рис. 35. Профили с заусенцами

всего времени работы стана необходимо наблюдать за всеми деталями его механизмов, а получаемый профиль постоянно контролировать путем взятия проб от прокатываемой полосы. Как уже раньше было сказано, рабочая клеть имеет много деталей (валки, подушки, винты, клинья), которые во время прокатки полосы пружинят, отходят одна от другой; из-за этого получается игра валков, которая при длительной работе стана может превысить допустимые пределы, в результате чего размеры профиля увеличатся, а форма его исказится. Вследствие сказанного, в процессе работы постоянно приходится выправлять положение тех или иных деталей стана, а иногда и менять их (например, вкладыши, проводки, болты, клинья, подкладки).

## 7. Точность прокатки и допуски

Как было сказано выше, основной задачей калибровки валков является получение точного профиля. Говоря строго, при прокатке точный профиль не получается, а всегда имеют место те или иные отклонения. Например, круглый профиль получается слегка овальным, у квадрата диагонали получаются меньшей длины, чем требуется, и т. д. Такие отклонения зависят от разных факторов; главные из факторов следующие.

Нагрев металла. При неравномерном нагреве слитка или заготовки металл вытягивается также неравномерно, что вызывает

неточность в размерах отдельных частей профиля и даже приводит к браку вследствие свертывания полосы при прокатке в валках (рис. 36). При равномерном нагреве металла, но до температуры ниже надлежащей, профиль получается полнее. То же получается при задержке с прокаткой. При прокатке «горячего» металла калибры не заполняются и профиль получается меньших размеров, чем требуется.

Состояние стана и валковой арматуры оказывает наибольшее влияние на получение правильных размеров проката. Как было сказано выше, во время прокатки полосы все детали стана пружинят, вследствие деформации и имеющихся зазоров между деталями. Чем больше износ отдельных деталей, тем больше зазоры между ними и тем менее точный получается профиль. Поэтому для правильной работы стана необходимо своевременно менять изношенные детали, чаще ремонтировать станины, подушки, нажимные винты и пр.

Валковая арматура должна быть чисто отлита или механически обработана и тщательно пригнана.

Не менее важное влияние на получение правильных размеров готового изделия оказывает качество валков. Если, например, валки мягкие, калибры быстро вырабатываются, что ведет к получению неточного профиля и к частой смене калибров и валков, после которой получается большое количество проката не по размеру, пока производится настройка стана.

Длина прокатываемой полосы должна быть увязана с получаемыми размерами профиля. Влияние длины сказывается следующим образом. Если полоса имеет большую длину, прокатка заканчивается при низкой температуре, и потому профиль получается неточным. При прокатке передний конец полосы выходит из валков более горячим, чем задний, вследствие чего задний конец полосы получается несколько толще переднего; чем длиннее прокатываемая полоса, тем большая разница будет между размерами обоих концов.

Настройка стана также влияет на получение правильных размеров профиля.

Учитывая влияние всех перечисленных факторов на получение точного профиля, в спецификациях обычно даются допуски на его основные размеры. В большинстве случаев допуски бывают двусторонние (с плюсом и минусом), иногда односторонние. В качестве примера в табл. 1 приведены допуски для круглой стали по ОСТ.

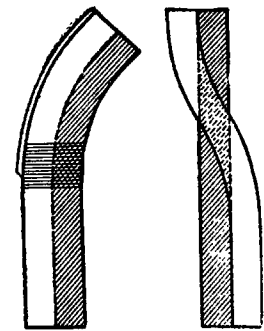


Рис. 36. Свертывание полосы при прокатке (по Грум-Гржимайло)

Таблица 1

Диаметр, мм	Обычная точность		Повышенная точность	
	допуски, мм	овальность не более, мм	допуски, мм	овальность не более, мм
До 25 . . . . .	$\pm 0,5$	0,5	$\pm 0,3$	0,3
Более 25 до 40 вкл. . . .	$\pm 0,75$	0,75	$\pm 0,4$	0,4
" 40 " 60 " . . . .	$\pm 1,00$	1,00	} $\pm 1,0$ }	} 1,0
" 60 " 80 " . . . .	$\pm 1,25$	1,25		
" 80 " 100 " . . . .	$\pm 1,25 \div 1,5$	1,5		
" 100 " 120 " . . . .	$\pm 1,5 \div 2,0$	2,0		
" 120 " 150 " . . . .	$\pm 1,75 \div 2,25$	2,25		
" 150 " 210 " . . . .	$\pm 2,0 \div 3,0$	3,0		

## ГЛАВА 3

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Если в прокатный стан слитки или заготовки весом  $G$  т каждый поступают через каждые  $T$  сек., то часовую производительность  $A$  стана можно выразить формулой:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{T}, \quad (1)$$

где 3600 — число секунд в одном часе. Время  $T$  представляет собой ритм прокатки данного профиля (или период следования слитков и заготовок).

Для каждого пропуска время  $T$  расходуется: на прокатку полосы и на вспомогательные операции, выполняемые между двумя последовательными пропусками. Первое называется временем прокатки, или машинным временем, второе — паузами. Обозначая первое через  $T_m$ , а второе через  $T_n$ , можно написать:

$$T = T_m + T_n, \quad (2)$$

если в одной клетке производится только один пропуск, и:

$$T = \Sigma T_m + \Sigma T_n, \quad (3)$$

если в одной клетке производится несколько пропусков.

Величину машинного времени  $T_m$  для каждого пропуска можно определить, если известны: длина полосы  $L$  после пропуска и скорость прокатки  $v$ :

$$T_m = \frac{L}{v}, \quad (4)$$

$$v = \frac{Dn}{19,1},$$

где:  $D$  — рабочий диаметр валков,  
 $n$  — число оборотов валков в минуту.

По такой формуле определяется скорость прокатки в станах, валки которых имеют постоянное число оборотов (станы трио, дуо-нерверсивные и кварто-нерверсивные). В станах, число оборотов валков которых в течение пропуска меняется, дело обстоит несколько сложнее. К таким станам относятся: реверсивные дуо, реверсивные кварто и непрерывные станы холодной прокатки,



валки которых вращаются в одном направлении, но с переменным числом оборотов во время пропуска полосы.

В этих станах в начальный момент работы двигателя (момент пуска) число оборотов равно нулю (рис. 37), затем число оборотов увеличивается до  $n_2$  — максимального для данного пропуска. Слиток захватывается валками при некотором промежуточном

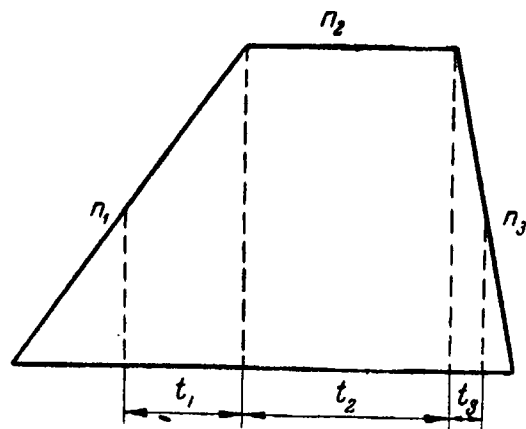


Рис. 37. Диаграмма числа оборотов реверсивного стана

числе оборотов  $n_1$ . Период, в течение которого число оборотов двигателя увеличивается от  $n_1$  до  $n_2$ , называется периодом ускорения; он длится  $t_1$  сек. (промежуток времени, когда в валках нет слитка и число оборотов возрастает от 0 до  $n_1$ , нас при расчете не интересует). Следующий период — период постоянной скорости, в течение которого число оборотов остается постоянным и равным  $n_2$ ; этот период продолжается  $t_2$  сек. Третий — период замедления, когда число оборотов уменьшается от  $n_2$  до  $n_3$  (при последнем числе оборотов слиток выходит из валков). Продолжительность периода замедления  $t_3$  сек. Полное время пропуска, очевидно, равно:

$$T_m = t_1 + t_2 + t_3. \quad (5)$$

Определим каждое из этих слагаемых в отдельности.

Период ускорения и замедления. Если увеличение числа оборотов валков в период ускорения составляет  $a$  об/мин. за секунду, а уменьшение в период замедления —  $b$  об/мин. за секунду, то, очевидно, можно написать следующие равенства:

$$t_1 = \frac{n_2 - n_1}{a}, \quad (6)$$

$$t_3 = \frac{n_2 - n_3}{b}. \quad (7)$$

Соответствующие этим периодам средние скорости прокатки будут равны:

$$v_1 = \frac{\pi D (n_2 + n_1)}{120}, \quad (8)$$

$$v_3 = \frac{\pi D (n_2 + n_3)}{120}. \quad (9)$$

На основании этих четырех равенств определяем длины полос, прокатываемых за периоды ускорения ( $l_1$ ) и замедления ( $l_3$ ),

$$l_1 = \frac{\pi D (n_2 + n_1)}{120} \cdot \frac{n_2 - n_1}{a}, \quad (10)$$

$$l_3 = \frac{\pi D (n_2 + n_3)}{120} \cdot \frac{n_2 - n_3}{b}. \quad (11)$$

На практике в большинстве случаев прокатку ведут с таким режимом скоростей, при котором число оборотов при захвате полосы валками и выпуске ее из валков делается равным, т. е.  $n_1 = n_3$ .

В соответствии с этим равенство (11) переписывается так:

$$l_3 = \frac{\pi D (n_2 + n_1)}{120} \cdot \frac{n_2 - n_1}{b}.$$

Длина полосы, прокатываемой за периоды ускорения и замедления, равна:

$$l_1 + l_3 = \frac{\pi D (n_2 + n_1)}{120} \cdot \left( \frac{n_2 - n_1}{a} + \frac{n_2 - n_1}{b} \right),$$

или:

$$l_1 + l_3 = \frac{\pi D}{120} \cdot \frac{a + b}{ab} (n_2^2 - n_1^2). \quad (12)$$

За период постоянной скорости прокатывается часть полосы длиной:

$$l_2 = v_2 t_2, \text{ или } l_2 = \frac{\pi D n_2 t_2}{60}. \quad (13)$$

Полная длина полосы:

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

$$L = \frac{\pi D}{120} \cdot \frac{a + b}{ab} \cdot (n_2^2 - n_1^2) + \frac{\pi D n_2 t_2}{60}. \quad (14)$$

Из этой формулы определяем продолжительность периода постоянной скорости:

$$t_2 = \frac{60}{\pi n_2} \cdot \frac{L}{D} - \frac{a + b}{2abn_2} (n_2^2 - n_1^2). \quad (15)$$

Теперь можем написать выражение для определения полного времени пропуска:

$$T_m = \frac{n_2 - n_1}{a} + \frac{n_2 - n_1}{b} + \frac{19}{n_2} \cdot \frac{L}{D} - \frac{a + b}{2abn_2} (n_2^2 - n_1^2).$$

Преобразуем это выражение:

$$T_m = \frac{19}{n_2} \cdot \frac{L}{D} + \frac{a + b}{2ab} \cdot \frac{(n_2 - n_1)^2}{n_2}. \quad (16)$$

Как видно из формулы (16), для определения машинного времени необходимо знать величины  $L$ ,  $D$ ,  $n_2$ ,  $n_1$ ,  $a$  и  $b$ . Четыре первые обычно задаются, а две последние берутся из характеристики двигателя и стана. Например, реверсивный мотор часто имеет  $a=20$  об/мин за секунду и  $b=40$  об/мин за секунду. Тогда выражение  $\frac{a+b}{ab}$  равно примерно  $\frac{1}{27}$ .

Если принять, что

$$\frac{19}{n_2} = C; \quad \frac{a+b}{2ab} = k \text{ и } \frac{(n_2 - n_1)^2}{n_2} = A,$$

то формулу (16) можно представить в более простом виде:

$$T_m = C \cdot \frac{L}{D} + kA. \quad (17)$$

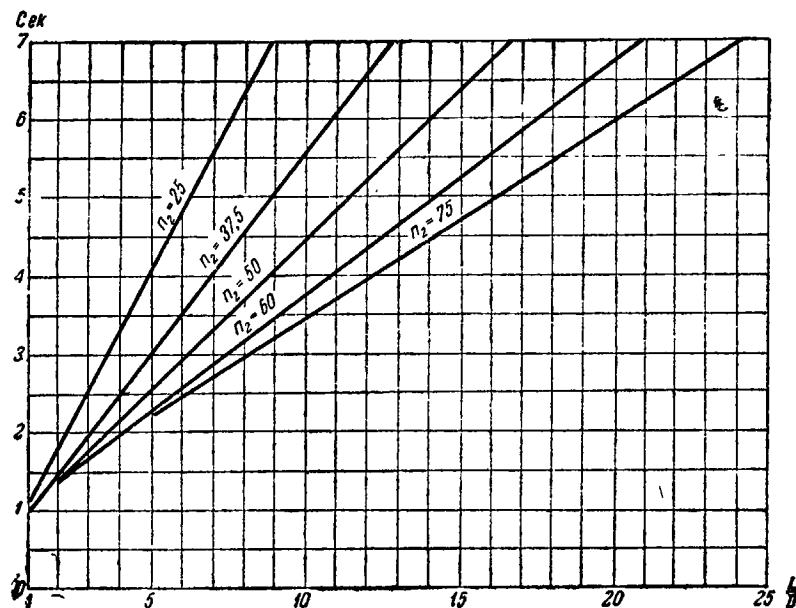


Рис. 38. График для определения машинного времени при прокатке на реверсивном стане

Очевидно, эта формула представляет собой уравнение прямой линии вида:

$$y = mx + p,$$

отсекающей отрезок  $kA$  на оси ординат. Таким образом, для определения величины  $T_m$  необходимо отложить на оси абсцисс отношение  $\frac{L}{D}$  (рис. 38).

Все вычисления значительно упрощаются, если задаться отношением  $\frac{n_2}{n_1}$ , которое для разных случаев прокатки имеет более или менее определенное значение. Если, например, принять это отношение равным 2,5, то формула (17) при  $a=20$ , и  $b=40$  принимает вид:

$$T_m = \frac{7,6}{n_1} \cdot \frac{L}{D} + 0,033 n_1.$$

Теперь, задавая ряд последовательных значений для  $n_1$ , получаем величину  $T_m$  в функции отношения  $\frac{L}{D}$ :

$$n_1 = 10 \quad T_m = 0,76 \cdot \frac{L}{D} + 0,33$$

$$n_1 = 15 \quad T_m = 0,51 \cdot \frac{L}{D} + 0,50$$

$$n_1 = 20 \quad T_m = 0,38 \cdot \frac{L}{D} + 0,66$$

$$n_1 = 25 \quad T_m = 0,29 \cdot \frac{L}{D} + 0,82$$

$$n_1 = 30 \quad T_m = 0,25 \cdot \frac{L}{D} + 0,99$$

На практике число оборотов валков реверсивного стана при задаче полосы редко превышает 30. Поэтому достаточно построить пять прямых, соответствующих этим равенствам, и по ним определять  $T_m$  для разных значений отношения  $\frac{L}{D}$ . Для построения каждой прямой необходимо задать только два каких-нибудь значения отношения  $\frac{L}{D}$ , например 2 и 10. Тогда для  $T_m$  получаем:

$$\text{при } \frac{L}{D} = 2:$$

$$n_1 = 10 \quad T_m = 1,85 \text{ сек.}$$

$$n_1 = 15 \quad T_m = 1,52 \text{ „}$$

$$n_1 = 20 \quad T_m = 1,42 \text{ „}$$

$$n_1 = 25 \quad T_m = 1,40 \text{ „}$$

$$n_1 = 30 \quad T_m = 1,49 \text{ „}$$

$$\text{при } \frac{L}{D} = 10:$$

$$n_1 = 10 \quad T_m = 7,93 \text{ сек.}$$

$$n_1 = 15 \quad T_m = 5,60 \text{ „}$$

$$n_1 = 20 \quad T_m = 4,46 \text{ „}$$

$$n_1 = 25 \quad T_m = 3,72 \text{ „}$$

$$n_1 = 30 \quad T_m = 3,49 \text{ „}$$

Паузы между пропусками требуются для продольного и поперечного перемещения прокатываемой полосы от калибра к калибру или от клетки к клетке. Сюда, следовательно, входят такие операции: 1) подача полосы по рольгангу, 2) передача полосы шлеперами, 3) подъем и опускание полосы подъемными столами в станах трио, 4) подъем и опускание верхнего валка в станах, работающих с подвижным верхним валком, 5) передача и задача полосы вальцовщиком. Сюда же входит и время, необходимое для кантовки полосы.

Рассмотрим, как определяется величина пауз каждого рода.

1. Время, потребное для передачи полосы по рольгангу, определяется формулой:

$$t = \frac{L-l}{v}, \quad (18)$$

где  $L$  — расстояние между осями двух соседних клеток,

$l$  — длина полосы, выходящей из предыдущей клетки,

$v$  — средняя скорость роликов, которую можно принять равной 60—85% от номинальной расчетной, в зависимости от длины рольганга.

Этот коэффициент учитывает разгон рольганга и часто наблюдающиеся случаи неполного использования его скорости. Кроме того, сюда же входит поправка на выбрасывание полосы валками из предыдущей клетки на некоторое расстояние, которое должно уменьшить разность  $(L-l)$ .

Приведенная формула служит для определения времени передвижения полосы по рольгангу при передаче ее от клетки к клетке. Если же полоса рольгангом подается в те же валки, из которых вышла, то формула для определения паузы будет иметь вид:

$$t = \frac{L}{v};$$

здесь  $L$  — расстояние, на которое полоса выбрасывается валками при выходе из них.

2. Время, затрачиваемое на передачу полосы от клетки к клетке шлеперами, можно определить из формулы:

$$t = \frac{L}{v}, \quad (19)$$

где  $L$  — расстояние между осями клеток, а  $v$  — средняя скорость, которая, как и для рольгангов, может быть принята в 60—85% от номинальной.

3. Время для подъема и опускания столов в станах трио получается путем деления диаметра валков на среднюю скорость подъема или опускания стола (рис. 3, б):

$$t = \frac{D}{v}. \quad (20)$$

4. Время для подъема и опускания верхнего валка. Это время можно определить из формулы:

$$t = \frac{H}{v}. \quad (21)$$

Здесь  $H$  определяет собой высоту подъема или опускания валка,  $v$  — среднюю скорость, которая берется в размере 60—85% от номинальной, в зависимости от величины  $H$ .

5. Пауза для передачи и задачи полосы вальцовщиком практически находится в пределах 3—7 сек. Нижний предел относится к быстроходным мелкосортным и проволочным станам, верхний — к крупносортным, когда полоса, помимо задачи в валки, еще и кантуется. При отсутствии кантовки пауза в этих станах равна 5 сек.

Производительность стана, вычисленная по приведенным выше формулам, представляет собой теоретическую или технически возможную. Практически возможная производительность ниже технической возможной, так как во время работы стана неизбежны небольшие и случайные задержки, нарушающие нормальный ритм прокатки. Эта разница в производительности стана учитывается коэффициентом  $K$ . Таким образом, можно написать:

$$A_1 = A \cdot K, \quad (22)$$

где  $K$  — коэффициент, меньший единицы.

Величина коэффициента  $K$  колеблется в значительных пределах по причинам чисто организационного порядка. Таким образом, коэффициент  $K$  характеризует четкость, организованность работы, что имеет особенно важное значение для прокатного цеха, так как здесь производственный процесс включает ряд отдельных звеньев, взаимно связанных и влияющих один на другой (нагрев, прокатка, резка, отделка и др.). Чем выше коэффициент  $K$ , тем лучше используется производственная мощность стана, характеризуемая технически возможной производительностью. В идеале коэффициент  $K$  равен единице.

В капиталистических странах коэффициент  $K$  принимают равным 0,60—0,70. В наших условиях этот коэффициент значительно выше и находится в пределах 0,80—0,90. Первая цифра (0,80) относится к таким станам, как блуминги, рельсобалочные и крупносортные; более высокое значение коэффициента  $K$  может быть принято для непрерывных станов; для остальных станов он имеет промежуточные значения.

Достижению таких высоких коэффициентов использования производственных мощностей наших прокатных станов способствовало развитие и внедрение стахановских методов работы, позволяющих получать более высокую производительность по сравнению с той, которая может быть достигнута в капиталистических

условиях. Это указывает на более высокую организацию производства в социалистических условиях. Основными элементами такой организации в прокатных цехах, в первую очередь, являются те, которые определяют величину пауз, так как машинное время не всегда можно сократить (например, на станах с приводом от моторов переменного тока, при прокатке полос с большими углами захвата, ограничивающими скорость прокатки, и т. п.). Уменьшение пауз при той же величине машинного времени дает более благоприятные отношения  $\frac{\Sigma t_n}{\Sigma t_m}$ , а, следовательно, способствует повышению производительности стана, как видно из выражения:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{\Sigma t_m + \Sigma t_n} = \frac{3600 \cdot \frac{G}{\Sigma t_m}}{1 + \frac{\Sigma t_n}{\Sigma t_m}}$$

Совершенно понятно, что в тех случаях, когда скорость прокатки может быть повышена и, значит, машинное время  $\Sigma t_m$  снижено, производительность стана возрастает еще более резко.

Но производительность стана может увеличиваться и при возрастании машинного времени и сохранении той же величины пауз. Это может быть в тех случаях, когда увеличивается вес слитка или заготовки, следовательно, и длина прокатываемой полосы и машинное время  $\Sigma t_m$ . Обычно такое мероприятие проводится при условии, что:

$$G' > \frac{(\Sigma t_m)'}{(\Sigma t_m)},$$

где  $G'$  — вес нового слитка и  $(\Sigma t_m)'$  — соответствующая ему величина машинного времени. Это соотношение говорит о том, что вес слитка или заготовки возрастает больше, чем машинное время. Знаменатель в приведенном выше выражении уменьшается, и производительность  $A$  в общем возрастает.

Для достижения оптимального показателя отношения  $\frac{\Sigma t_n}{\Sigma t_m}$  при данных условиях необходимо, чтобы производственный процесс на стане был построен на научной основе, учитывающей весь накопленный стахановский опыт. В соответствии с этим должен быть регламентирован режим работы стана с минимальным ритмом  $T = \Sigma t_m + \Sigma t_n$ , определяемым путем анализа всех элементов производственного процесса, с расшивкой узких мест, совмещением отдельных операций во времени и с применением слитков и заготовок веса, оптимального для данных условий.

Для сохранения ритма  $T$  постоянным необходима правильная организация труда на стане с четким разграничением всех обязанностей, с освобождением квалифицированных рабочих от второстепенных работ, с надлежащей подготовкой всех рабочих мест.

Коэффициент  $K$  учитывает задержки в работе, которые не фиксируются, так как имеют место на ходу стана при работающем двигателе. Но, кроме того, в процессе работы стана происходят более длительные простои, когда стан останаивается. Это — фиксируемые простои. Величина их колеблется в пределах 8—20% от номинального времени работы стана, причем более высокий процент относится к станам, у которых часто приходится менять валки.

Сказанное выше о коэффициенте  $K$  относится и к фиксируемым простоям — стахановские методы работы способствуют снижению простоев до минимума.

В соответствии с изложенным различают номинальное и фактическое время работы стана. Они различаются между собой на величину простоев:

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{ном}} \times (0,80 \div 0,92). \quad (23)$$

Для определения годовой производительности стана необходимо знать число часов работы его в год. При определении этого числа исходят обычно из 365 рабочих дней. Распределение этой последней цифры будет зависеть от того, по какому графику работает стан — прерывному или непрерывному. В первом случае принимают число рабочих дней в году равным 320, исходя из следующего распределения нерабочих дней:

Революционные дни . . . . .	6 дней
Ежегодный капитальный ремонт . . . . .	15 ..
Планово-предупредительные текущие ремонты по 2 дня в месяц . . . . .	24 дня
Всего . . . . .	45 дней

Номинальное и фактическое число часов работы стана получается равным:

Номинальное:  $24 \times 320 = 7680$  час.

Фактическое:  $7680 \times (0,80 \div 0,92) \approx 6100 \div 7000$  час.

При работе по прерывному графику нерабочие дни распределяются так:

Революционные дни . . . . .	6 дней
Еженедельные выходные дни . . . . .	52 дня
Капитальный ремонт . . . . .	7 дней
Всего . . . . .	65 дней

Номинальное число часов работы:

$$24 \times 300 = 7200 \text{ час.}$$

Фактическое число часов работы:

$$7200 \times (0,80 \div 0,92) = 5700 \div 6600 \text{ час.}$$

## Графики прокатки

Изложенные выше методы определения машинного времени и пауз являются аналитическими. Для удобства же пользования целесообразно результаты вычислений представить графически. Впервые такой графический метод изображения процесса прокатки на стане во времени был предложен инж. Адамецким, почему подобные графики и получили название «графиков Адамецкого».

Суть этого метода заключается в следующем. Строят сетку с необходимым числом клеток в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 39, а). По горизонтали откладывают время

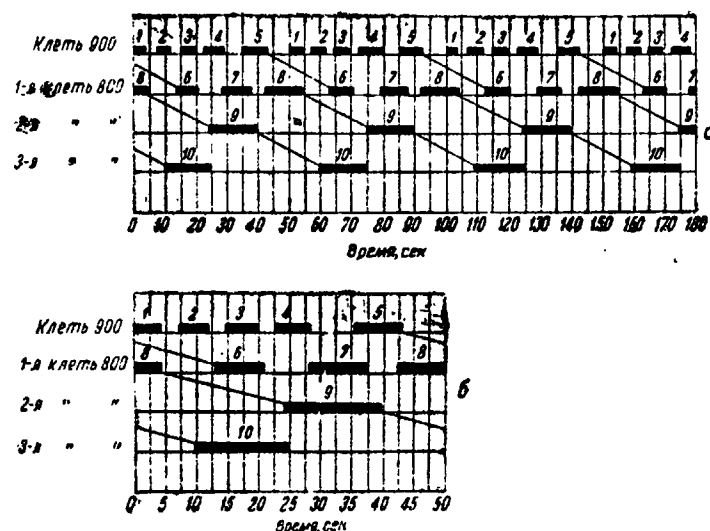


Рис. 39. График Адамецкого

в секундах, а по вертикали номера клеток стана и других агрегатов, если таковые должны быть отмечены на графике (ножницы, пилы, рольганги, шлепперы и пр.). Продолжительность пропуска (машинное время) указывается жирной линией по горизонтали, соответствующей данной клетке, а паузы между пропусками — пунктиром или свободным промежутком между двумя жирными линиями. При переходе от одной клетки к другой две соседние жирные линии (последняя предыдущей клетки и первая последующей) соединяются косой линией.

Пользуясь графиком Адамецкого, можно установить следующие показатели производственного процесса.

В горизонтальном направлении: 1) машинное время для каждого пропуска и паузы между пропусками; 2) суммарную продолжительность прокатки полосы за все пропуска в каж-

дой клетки; 3) общую продолжительность прокатки полосы во всех клетях, начиная от первого пропуска и кончая последним; 4) ритм прокатки.

В вертикальном направлении: 1) состояние производственного процесса на стане в любой отрезок времени с точным указанием места нахождения каждой полосы в пределах стана (в клетях и между клетями); 2) число одновременно прокатываемых полос.

На рис. 39, а изображен график прокатки рельсов на рельсовом стане, состоящем из двух линий: черновой с одной реверсивной клетью дуо, в которой дается пять пропусков, и чистовой с тремя клетями трио, в которой дается также пять пропусков. На графике видно, что продолжительность прокатки полосы в отдельных клетях составляет: в реверсивной клетке — 43 сек., в 1-й клетке трио — 41 сек., во 2-й клетке — 15 сек., в 3-й клетке — 16 сек., паузы при передаче из клетки в клетку — 60 сек. Общая продолжительность прокатки полосы — 175 сек. Далее, график показывает, что «узким местом» стана является реверсивная клетка, которая и определяет ритм прокатки, принятый равным 50 сек.

Исследуя график в вертикальном направлении, можно установить, что в стане одновременно находятся 3—4 полосы.

Указанный на рис. 39, а график построен с длиной горизонтали, соответствующей полному циклу прокатки одной полосы (175 сек.), поэтому он имеет несколько вытянутую форму. Длину горизонтали можно, однако, сократить, если исходить не из полного цикла прокатки полосы, а из ритма прокатки на стане (50 сек.). В этом случае график строится в следующем порядке (рис. 39, б). На первой линии откладывают пропуски 1—5, которые полоса делает в реверсивной клетке. Пятый пропуск заканчивается в 43 сек.

Дальше следует пауза в 20 сек., которая на предыдущем графике заканчивается в 63 сек. Для нахождения времени начала 6-го пропуска необходимо вычесть из 63 сек. ритм прокатки, т. е.  $63 - 50 = 13$  сек. Это и будет точкой начала 6-го пропуска.

Прокатка в первой клетке трио длится 41 сек. и должна, следовательно, закончиться к  $13 + 41 = 54$  секунде.

Поступая аналогично предыдущему, определим точку начала прокатки во второй клетке:

$$54 - 50 + 20 = 24 \text{ сек.}$$

Подобным же образом найдена точка начала прокатки в 3-й клетке — 9 сек.

В этом графике несколько неясно выражены паузы между отдельными клетями. Однако для их определения никаких затруднений нет. Например, пауза между черновой клетью дуо и первой клетью трио равна сумме: 7 сек. в конце первой горизонтальной линии плюс 13 сек. в начале второй горизонтальной линии, т. е.

всего 20 сек. Аналогично находим паузу между 2 и 3-й клетями трио—11 сек. в конце линии 2-й клетки и 9 сек. в начале линии 3-й клетки, следовательно, в сумме получаем 20 сек.

График Адамецкого незаменим при построении диаграммы нагрузки двигателя стана. На рис. 40 приведен график Адамецкого

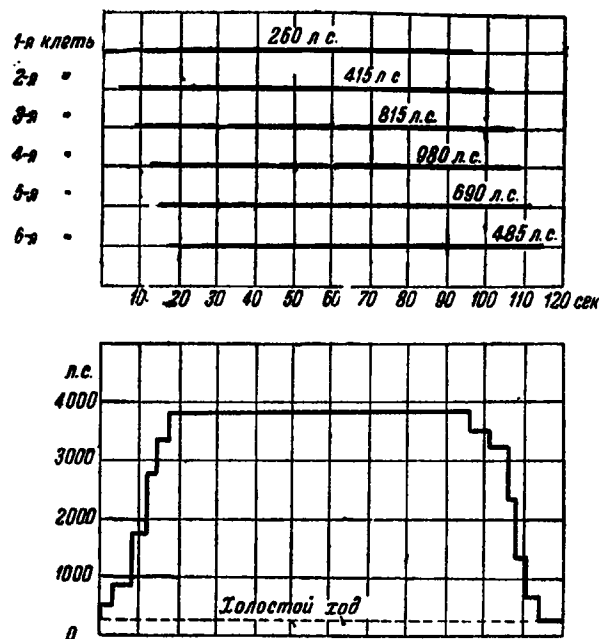


Рис. 40. График Адамецкого для непрерывного стана

для непрерывного стана с диаграммой нагрузки двигателя, совмещенной во времени с прокаткой.

Следует упомянуть еще об одном виде графика прокатки, представленном на рис. 41. Здесь по горизонтальной линии откладывается время следования отдельных операций на стане (пропусков и пауз), а по наклонной — продолжительность пропусков. Обе линии — горизонтальная и наклонная — связаны между собой таким образом, что перпендикуляр, опущенный из какой-либо точки наклонной линии, отсекает на горизонтальной тот же показатель времени, какой имеет и наклонная линия. Благодаря такому построению можно определить конец той или иной операции, начало которой дано на горизонтальной линии; суммарное время прокатки одной полосы и пр. Эта форма графика не получила большого распространения.

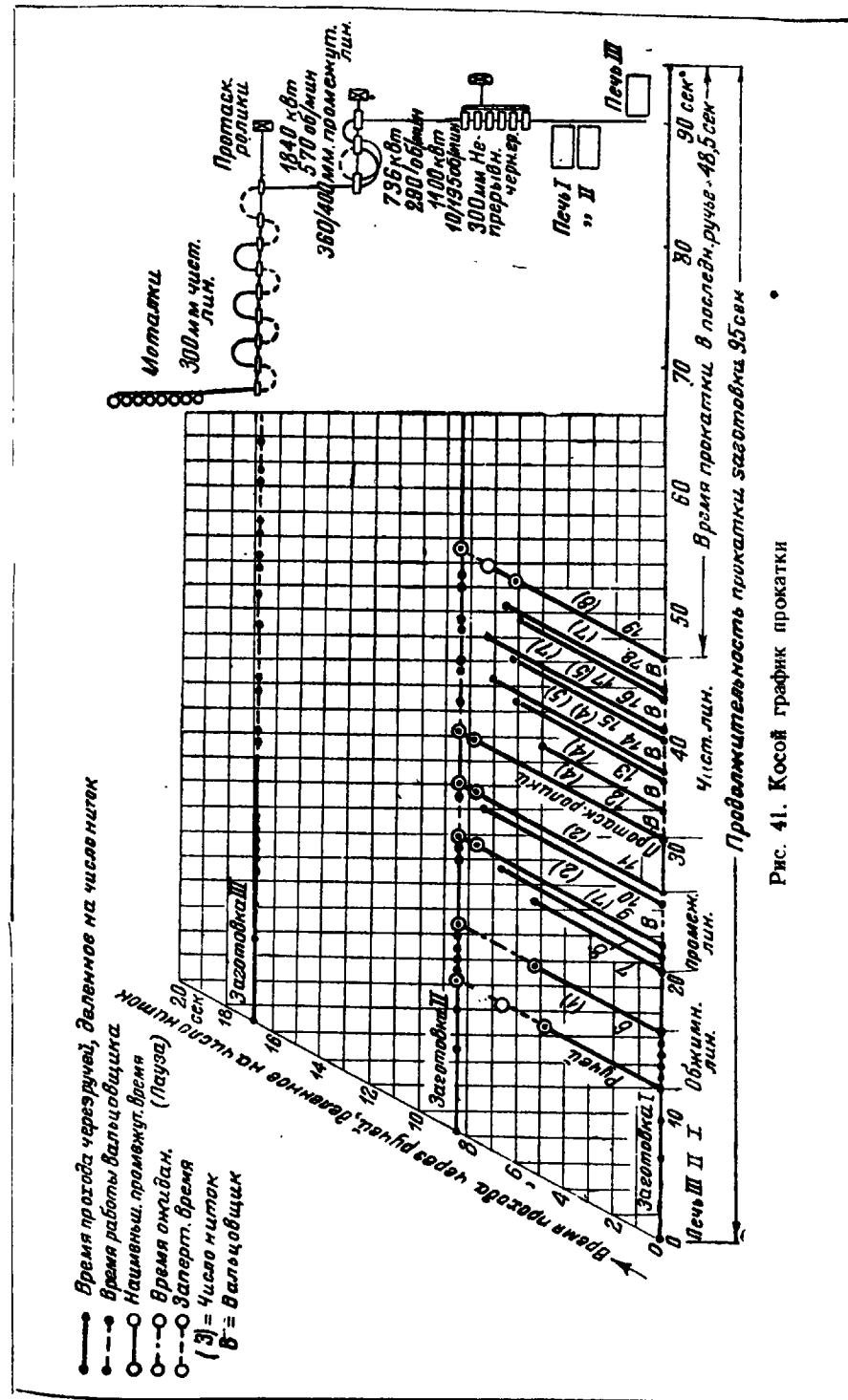


Рис. 41. Косой график прокатки

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1. Общая схема технологического процесса в прокатных цехах

Технологический процесс получения готового проката из слитков зависит не только от процесса прокатки как такового, но включает ряд операций, совершающихся перед ним и после него. Выше уже было сказано, что процесс производства в прокатном цехе разделяется на две основные стадии: 1) получение полупродукта (блумов, слябов и заготовок) из слитка и 2) получение готовых изделий из полупродукта.

В первой стадии слитки, поданные в прокатный цех, нагревают до определенной температуры и прокатывают на блуминге или слябинге. Если блумы и слябы служат исходным материалом для получения окончательных профилей на отделочных станах, то прокатанный слиток режут на части, которые отправляют непосредственно в нагревательные печи или на склад для осмотра и зачистки. Если же блумы предназначены для прокатки заготовки, то их направляют на специальные заготовочные станы — непрерывные или периодические — и прокатывают в заготовки необходимых размеров.

Во второй стадии производства блумы, слябы или заготовки нагревают в печах, прокатывают в стане и направляют на холодильник, где полосы остывают; затем их правят, режут на заданные длины и подают на склад. Такая схема типична для прокатки сортового металла, катанки и ленты. В производстве листового металла операции после прокатки могут несколько отличаться от перечисленных по характеру и объему.

Если обобщить все операции по производству полупродукта и готовых изделий, то процесс производства можно разделить на три основные стадии:

- 1) нагрев металла в печах,
- 2) прокатку и
- 3) отделку, которая включает резку, охлаждение, правку, укладку, осмотр и зачистку.

Особенности, связанные с производством продукта того или иного вида, будут рассмотрены при дальнейшем детальном изучении.

#### 2. Классификация полупродукта

Название каждого вида полупродукта — блумов, слябов и заготовок — связано с наименованием станов, на которых они получают, — блумингов, слябингов и заготовочных. Однако такое деление полупродукта было бы неточным, так как один и тот же полупродукт, например, сечением  $150 \times 150$  мм, можно получить как на блуминге, так и на заготовочном стане; слябы прокатываются как на слябингах, так и на блумингах. Поэтому для четкого разграничения этих наименований целесообразнее установить классификацию по размерам и форме, независимо от того, на каком стане полупродукт прокатывается.

Так как наибольший размер заготовок, прокатываемых на современных заготовочных станах, равен  $150 \times 150$  мм, то под заготовкой мы будем понимать такой полупродукт, который имеет размер  $150 \times 150$  мм и меньше. Минимальный размер заготовок, применяемых на практике, равен  $38 \times 38$  мм. Это — так называемая сортовая заготовка, т. е. полупродукт, из которого прокатывается главным образом сортовой металл. Сечение заготовки — почти всегда квадрат. Заготовки размером от  $100 \times 100$  до  $150 \times 150$  мм иногда прокатывают на блумингах. Однако, как правило, заготовки катают на специальных заготовочных станах.

Полупродукт сечением свыше  $150 \times 150$  мм называется блумом и прокатывается на блумингах. Наибольшее сечение блума около  $300 \times 300$  мм (на Кузнецком заводе  $300 \times 330$  мм). Форма сечения — квадрат или прямоугольник с отношением сторон меньше 2. В отдельных случаях прокатываются блумы и другой формы, например, круглые для производства колес и бесшовных труб большого диаметра, фасонные для прокатки балок и швеллеров.

Если полупродукт выпускают прямоугольного сечения с отношением ширины к толщине 3 и больше (максимальное отношение 15 — 16), то он называется слябом. Наибольшая ширина слябов достигает 1600 мм.

Последний вид полупродукта — листовая заготовка или сутунка, прокатываемая на заготовочных или специальных станах. Размеры ее: ширина от 150 до 600 мм, толщина от 6 до 75 мм.

## ГЛАВА 1

### СЛИТКИ

Исходным материалом для получения прокатных изделий являются слитки. Прокатчикам необходимо знать свойства слитков. Это требуется, во-первых, для того, чтобы прокатчик в каждом случае ясно представлял, какого качества слитки он получает из сталеплавильного цеха, во-вторых, для обеспечения оптимального режима нагрева, прокатки и отделки. При оценке качества готового изделия приходится строго различать дефекты прокатного и сталеплавильного производства, а для этого опять-таки необходимо знать свойства слитков.

#### 1. Затвердевание слитка

Жидкую сталь разливают в изложницы, в которых она охлаждается. При застывании стали происходит процесс первичной кристаллизации с образованием трех кристаллических зон (рис. 42): наружной зоны, состоящей из мелких, беспорядочно расположенных кристаллов, образующихся в начальный период застывания слитка при интенсивном отборе тепла, благодаря холодным стенкам изложниц; средней зоны, состоящей из более крупных столбчатых кристаллов, расположенных перпендикулярно к наружной поверхности слитка; и внутренней зоны, с кристаллами, имеющими различную ориентировку.

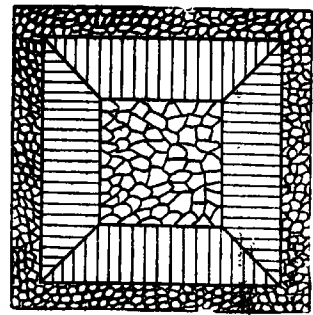


Рис. 42. Схема трех кристаллических зон

В результате этих процессов образуется так называемая первичная литая структура слитка, величина, форма и расположение зерен которой зависят, главным образом, от состава стали и скорости охлаждения.

#### 2. Внутренние дефекты слитка

**Ликвация.** Под ликвацией подразумевается неоднородность химического состава отдельных частей слитка, образующаяся вследствие неравномерного распределения в них элементов в про-

цессе затвердения. Ликвация разделяется на кристаллическую, или дендритную, связанную с отдельными кристаллами, и на зональную, или общую, располагающуюся по оси слитка. В первом случае ликвирующая жидкость находится между отдельными зернами или внутри них. Зональная ликвация происходит вследствие того, что в центральной части слитка сталь затвердевает в последнюю очередь, причем к этому моменту жидкая сталь обогащается примесями, количество которых увеличивается в направлении к верху слитка. Наибольшей ликвирующей способностью обладают сера, фосфор и углерод. На рис. 43 показано схематическое распределение содержания углерода по высоте слитка: оно повышается от 0,04 до 0,11%. Кремний и марганец распределяются более или менее равномерно. Ликвация возрастает с увеличением веса слитка.

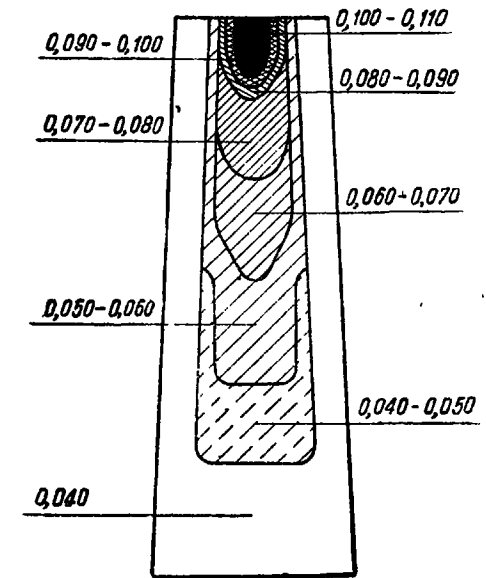


Рис. 43. Схема распределения углерода в различных частях слитка по высоте

Ликвация легко обнаруживается путем травления шлифов на макроструктуру (например методом Баумана). Ликвационная зона имеет более темный цвет (рис. 44).

**Усадочная раковина.** Как было сказано выше, охлаждение стали после разливки начинается около стенок изложниц, где образуется корка, и распространяется дальше к центру слитка. Это охлаждение связано с уменьшением объема затвердевающего металла и, следовательно, с увеличением пространства для остающегося жидкого металла, который, естественно, начинает осаживаться вниз, образуя постепенно под верхней, наружной застывшей коркой пустоту, или так называемую «усадочную раковину». Форма и размеры усадочной раковины весьма различны. В одних случаях она локализуется только в верхней части, занимая, так сказать, нормальный объем (рис. 45), в других случаях она проникает на значительную глубину в виде пустоты малого сечения. Наконец, она может располагаться глубоко с перерывом (так называемая вторичная усадочная раковина). Продолжением усадочной раковины является усадочная рыхлость или усадочные пустоты, величина которых колеблется от заметных невооруженным глазом до различных только под микроскопом.



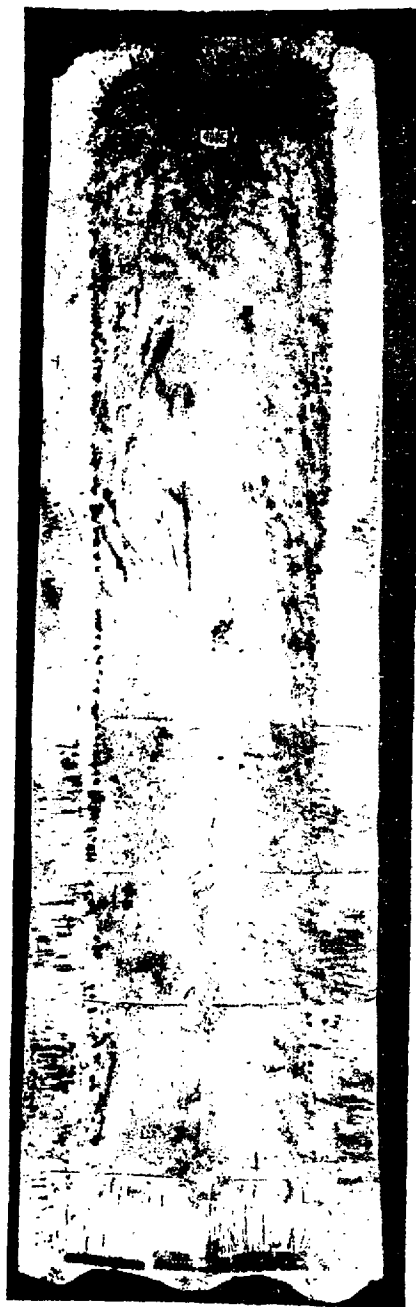


Рис. 44. Ликвационная область на поперечном макрошлифе

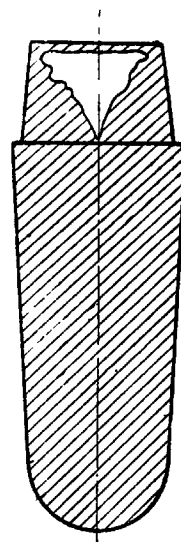


Рис. 45. Усадочная раковина в слитке

Главнейшими факторами, влияющими на форму и величину усадочной раковины, являются следующие: вес слитка, форма изложницы, отношение высоты слитка к стороне среднего поперечного сечения, скорость разливки, температура разливки, химический состав стали, способ разливки (сифоном или сверху).

Влияние веса слитка на величину усадочной раковины сказывается в более медленном охлаждении слитка большего веса, вследствие чего ликвация и усадочная раковина получают большее развитие, чем в слитках меньшего веса.

Форма изложницы оказывает большое влияние на образование усадочной раковины. В изложнице, показанной на рис. 46, а, низ слитка, как имеющий меньшие размеры, будет за-

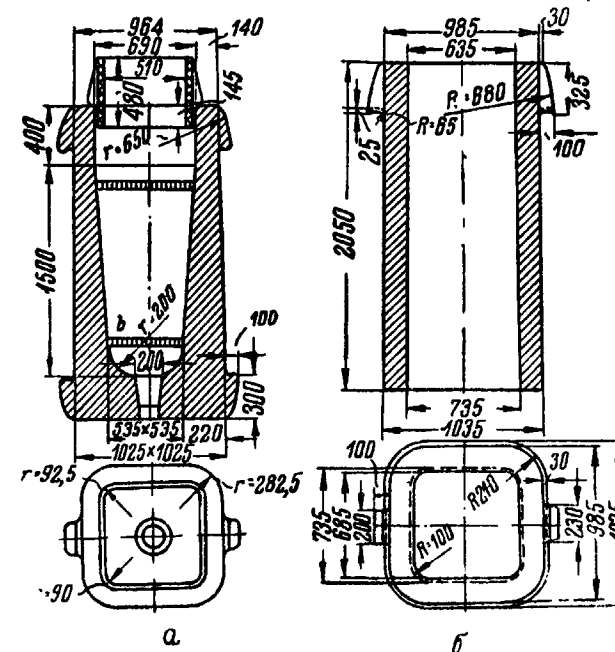


Рис. 46. Форма изложниц

твердевать быстрее верха. А так как усадочная раковина образуется в той части слитка, которая затвердевает последней, то следовательно, она будет сосредоточена в верхней части слитка. При этом, чем больше будет разница в сторонах верхнего и нижнего сечения, тем лучше будут условия для концентрации усадочной раковины. Вполне понятно, что в изложнице на рис. 46, б эти условия будут хуже.

Для уменьшения усадочной раковины применяются также: установка утеплителей сверху изложниц, в которых целиком сосредоточивается усадочная раковина, образующаяся в прибыльной

части слитка; засыпка верха слитка порошком люнкерита или древесного угля; повторная заливка прибыльной части слитка.

На величину усадочной раковины влияет не абсолютное, а относительное значение высоты слитка. Как правило, в высоких и узких слитках усадочная раковина получается вытянутой вдоль оси на значительную глубину.

Температура металла при разливке и скорость разливки не должны быть слишком высокими; в противном случае условия охлаждения становятся неблагоприятными, что приводит к значительному развитию усадочной раковины.

Способ разливки стали отражается на величине усадочной раковины следующим образом. Так как при разливке сверху сталь может быть более густой и, следовательно, более холодной, а при сифонной разливке она должна быть более текучей, более жидкой, и следовательно, температура ее должна быть выше, то при разливке сверху усадочная раковина получается менее глубокой, чем при сифонной.

**Газовые пузыри.** В жидкой стали растворяется значительное количество газов, главным образом, окиси углерода, водорода и азота, которые при разливке попадают вместе с металлом в изложницу. Особенно большое количество газов содержится в так называемой «кипящей стали», содержащей обычно не более 0,20% углерода. При изготовлении этой стали процесс раскисления продолжается в изложнице, вследствие чего сталь в ней кипит, выделяя пузырьки газов. Пока сталь жидка, газы сравнительно легко из нее выделяются. По мере охлаждения металл становится гуще, выделение газов затрудняется, и некоторое количество их застревает в слитке, располагаясь вблизи его поверхности. Отсюда видна зависимость между высотой слитка и его толщиной: чем выше и уже слиток, тем больше он насыщен газами. Пузыри, расположенные в глубине слитка, имеют неокисленную поверхность и легко завариваются. При расположении же пузырей близко к поверхности («сотовые пузыри»), они обычно обнажаются, вследствие обгорания стенок при нагреве и значительного обжата при прокатке, из-за чего получается брак.

**Неметаллические включения** бывают трех видов. шлаки, попадающие в изложницу из ковша; кусочки огнеупорных материалов, попадающие в металл из футеровки печи, жолоба, ковша, сифонов; продукты, образующиеся в результате раскисления стали ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$ ).

### 3. Наружные дефекты слитка

**Плены** получают на поверхности слитка при разливке стали сверху, когда брызги металла попадают на стенки изложницы, охлаждаются и образуют механическое соединение с поверхностью слитка. При прокатке плены не свариваются, а остаются на поверхности, вытягиваясь в длину.

**Трещины** бывают поперечные и продольные. Поперечные появляются в результате неровностей внутри изложниц, вследствие чего усадка поверхности слитка получается неодинаковой. Второй род трещин зависит от скорости наполнения изложниц сталью.

Если сталь быстро наполняет изложницу, то образовавшаяся тонкая корка может не выдержать давления жидкой стали, и на поверхности слитка появятся трещины. «Рослые» слитки получают в кипящей стали в случае медленной разливки, когда сталь быстро остывает и газы застревают в металле. Образующаяся корка затем лопается, а выступающий жидкий металл застывает в виде крупных наплывов («рослые головы»).

### 4. Форма и размеры слитков

Форма и размеры слитков зависят от марки выплавленной стали и вида полупродукта, получаемого из данного слитка.

Стали всех марок можно разделить на рядовые и качественные. Каждая из этих основных групп имеет еще свои подразделения. Так, различают сталь мягкую и крепкую. Мягкой можно считать сталь с содержанием углерода до 0,20%, крепкой — сталь с более высоким содержанием углерода. С точки зрения механических свойств, границе этого деления соответствует предел прочности около 50 кг/мм<sup>2</sup>.

Качественные стали включают широкий диапазон марок как простых углеродистых, так и легированных с разной степенью легирования.

Влияние марки стали на размеры и, следовательно, на вес слитка характеризуется следующим: чем выше по качеству марка стали, тем меньшего веса отливается слиток. Наибольший вес имеют слитки мягкой стали — до 8 т, если они квадратные или прямоугольные, и до 25 т, если они плоские. Слитки крепкой стали легированных и углеродистых марок в большинстве случаев отливаются весом не более 5 т. Исключение составляет рельсовая сталь, слитки которой весят до 8 т.

В зависимости от метода раскисления стали различают слитки стали кипящей, полуспокойной и спокойной. Слитки первых двух групп сталей отливаются в сквозные, расширяющиеся книзу, изложницы (рис. 46, б), слитки спокойной стали в большинстве случаев отливаются в глухие изложницы, расширяющиеся кверху, и с прибыльной частью (рис. 46, а).

Кипящая сталь обычно идет на мягкие марки. Спокойная сталь — главным образом, на твердые марки, но и мягкие марки нередко изготавливаются из спокойной стали.

По форме слитки бывают разные. Наиболее распространены слитки с квадратным и прямоугольным поперечными сечениями, причем последние, в свою очередь, делятся на две группы: 1) с отношением сторон не более 1,25 и 2) с более высоким отношением сторон. Слитки первой группы применяются для прокатки сорто-

вого и отчасти листового металла, слитки второй группы — исключительно для листового металла. Слитки прямоугольного сечения наиболее распространены, поэтому они быстрее застывают и ликвация в них меньше.

Слитки спокойной стали большинства марок отливаются квадратной формы с уклоном боковых сторон в 3—5% от размера высоты (на каждую сторону). Вес прибыли составляет 14—16% от общего веса слитка.

Высоколегированные стали отливаются чаще всего в слитки круглой формы с такими же параметрами, как и квадратные.

Для борьбы с поверхностными трещинами слитков их отливают в изложницы с гофрированной поверхностью. Такие изложницы применяют как для кипящей, так и для спокойной стали.

Высота слитков зависит от величины отношения высоты слитка к стороне среднего сечения:

Кипящая сталь — от 3 до 3,5

Спокойная — не более 3 (если принять за высоту часть слитка без прибыли).

В табл. 2 даны размеры и вес слитков разных заводов.

Таблица 2

Завод	Сталь	Сечение слитка, мм		Высота слитка, мм		Отношение высоты слитка к стороне среднего сече- ния	Вес кг
		низ	верх	до прибыли	полная		
А	Кипящая . . . . .	760×680	700×620	—	2200	3,19	6650
	Спокойная . . . . .	590×590	740×740	1700	—	2,56	6100
Б	Кипящая . . . . .	735×735	715×715	—	2050	2,83	6900
	Спокойная . . . . .	535×535	690×690	1900	—	3,09	6000
В	Кипящая . . . . .	615×615	515×515	—	2100	3,53	4300
	Спокойная . . . . .	540×540	660×660	1680	—	2,80	5000
Г	То же . . . . .	450×450	580×580	1340	—	2,60	2960
	Кипящая . . . . .	1060×585	1010×535	—	1850	2,31	6850
Д	То же . . . . .	765×635	725×595	—	2100	3,01	6150
	Кипящая . . . . .	1270×660	1235×625	—	2000	2,05	10300
Ж	Спокойная . . . . .	Ø 550	Ø 650	1830	—	3,05	4360
	З						

### 5. Определение размеров и веса слитков

Размеры слитка по заданному весу определяются из формулы:

$$G = V \cdot \gamma, \quad (24)$$

где  $G$  — вес слитка в кг,  
 $V$  — объем слитка в  $\text{дм}^3$ ,  
 $\gamma$  — удельный вес стали.

По этой формуле сначала определяется объем:

$$V = \frac{G}{\gamma}.$$

а затем, исходя из него, линейные размеры.

Вычисленный объем, однако, не будет соответствовать действительному, так как удельный вес массы слитка будет меньше 7,8, вследствие неплотности, наличия пустот и пузырей.

Кроме того, надо иметь в виду, что сечение слитка в случае квадратной или прямоугольной формы имеет углы не острые, а закругленные, поверхность слитков иногда делается гофрированной и т. д. Между тем на практике удобнее производить вычисление без учета этих закруглений, т. е. рассматривать сечение как квадрат, прямоугольник или круг.

Учитывая два фактора — неплотность слитка и округленность его углов, — следует ввести поправочные коэффициенты для вычисления по вышеуказанной формуле его объема: для кипящей стали — 1,2, для спокойной стали — 1,1.

Для вычислений эти коэффициенты удобнее отнести к цифрам удельного веса, т. е. принять условные значения его: для кипящей стали — 6,4—6,5, для спокойной стали — 7,0.

Следовательно, окончательно имеем:

$$V = \frac{G}{6,5 \div 7,0}. \quad (25)$$

Слиток в большинстве случаев представляет собой усеченную пирамиду или усеченный конус, поэтому приблизительно можно написать:

$$V = F \cdot H,$$

где  $F$  — площадь среднего сечения в  $\text{дм}^2$ ,  
 $H$  — высота в  $\text{дм}$ .

Если обозначить сторону среднего сечения квадратного слитка через  $a$ , то

$$V = a^2 H.$$

Для прямоугольного слитка  $a$  равно стороне эквивалентного квадрата.

В большинстве случаев принимают:

$$\frac{H}{a} = 3.$$

Тогда:

$$V = 3a^3; \quad a = \sqrt[3]{\frac{V}{3}}.$$

При круглом сечении слитка:

$$F = 0,785d^2.$$

Беря отношение  $\frac{H}{d} = 3$ , получаем:

$$V \approx 2,3d^3 \text{ и } d = \sqrt[3]{\frac{V}{2,3}}.$$

### Пример определения размеров и веса слитков

Определить размеры и выбрать вес слитка для стали следующего химического состава:

0,60 % C; 0,90 % Mn; 0,25 % Si;  $P \leq 0,045\%$ ;  $S \leq 0,045\%$ .

Сталь, очевидно, должна быть спокойной, так как содержание углерода превышает 0,20 %.

Вес слитка желательно иметь не выше 5 т. Слиток квадратной формы, с утеплителем. Считая вес прибыли равным 16 % от общего веса слитка, можно вычислить вес слитка без прибыли:  $5000 \times 0,84 = 4200 \text{ кг}$ .

Объем слитка без прибыли:

$$4200 : 7 = 600 \text{ дм}^3.$$

Принимая отношения высоты к стороне среднего сечения равным 3, получаем:

$$a = \sqrt[3]{\frac{600}{3}} = 5,85 \text{ дм, или } 585 \text{ мм}.$$

Высота слитка до прибыли равна:

$$H = 585 \times 3 \approx 1750 \text{ мм}.$$

Уклон на каждую сторону берем в 3 % от высоты, т. е. 52,5 мм, или округленно 50 мм. Верхнее сечение слитка равно  $635 \times 635 \text{ мм}$ , нижнее  $535 \times 535 \text{ мм}$ .

## ГЛАВА 2

### НАГРЕВ СЛИТКОВ

Нагрев крупных слитков производится в нагревательных колодцах. Нагревательные печи применяются для подогрева и нагрева слитков высококачественных сталей. По конструкции и методу работы нагревательные колодцы разделяются на две основные группы. К первой группе относятся колодцы, работающие с образованием жидкого шлака, ко второй — работающие на «сухой» подине.

#### 1. Колодцы, работающие с образованием жидкого шлака

Колодцы этой группы строятся двух типов: однослитковые и многослитковые. В первом случае обычно несколько ячеек объединяется в одну группу, во втором случае группа чаще всего со-

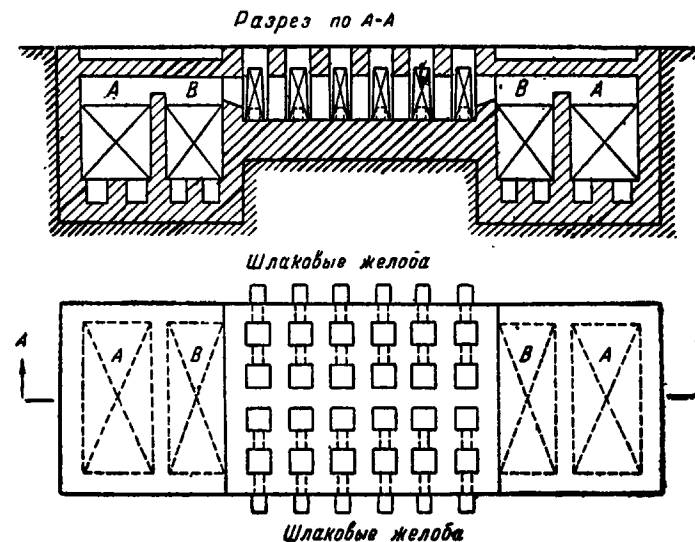


Рис. 47. Колодцы с однослитковыми ячейками

стоит из одной или двух камер, причем каждая камера может вмещать от 12 до 24 слитков.

Устройство колодцев с однослитковыми ячейками показано на рис. 47. В ней имеется всего 24 ячейки, расположенные в четыре



отпадает необходимость в регенераторах. Такие колодцы показаны на рис. 49. Они состоят из двух камер, вмещающих по 12 слитков каждая. Камеры работают поочередно. Сначала газ подводится в одну камеру, во второй в это время слитки подогреваются отходящими газами. Через некоторый промежуток времени газ переключают, и тогда слитки подогревают в первой камере.

Метод работы колодцев первой группы следующий. В однослитковых колодцах слиток сажают в камеру сразу после выдачи из него предыдущего. Вследствие этого температура стен мало изменяется в течение всего времени работы колодцев. Она несколько понижается только в моменты загрузки слитка в камеру. Такой температурный режим колодцев предопределяет расплавление образующейся окалины с превращением ее в жидкий шлак, который спускается в коробки.

Из многослитковых колодцев выдается несколько слитков один за другим (до половины камеры), если они сажаются холодными, или слитки выдаются по одному и сейчас же вместо выданного слитка сажается новый, если он достаточно горяч.

## 2. Колодцы второй группы

Колодцы второй группы по конструкции делятся на четыре типа: 1) регенеративные, 2) рекуперативные с боковыми горелками, 3) рекуперативные с центральной горелкой и 4) круглые с тангенциальными горелками.

Наиболее распространены регенеративные колодцы; устройство их следующее (рис. 50). Группа состоит нормально из четырех камер; каждая из них вмещает 8 слитков<sup>1</sup> весом от 7 до 8 т. Длина камеры 4000 мм, ширина 2250 мм и глубина 3350 мм. В большинстве случаев каждая камера имеет по две пары регенераторов для подогрева газа и воздуха. Топливом служит доменный газ (900 кал) или смесь доменного и коксового газов (1300 кал) или генераторный газ (1200 кал). Подогрев только воздуха применяется при высококалорийном топливе — богатой смеси доменного и коксового газов, натуральном газе и нефти.

Подина заправляется мелким коксиком или коксовым шламом, который насыпается слоем около 350 мм. Шлак вместе с коксиком спускается через два отверстия в коробку, установленную на вагонетке. Последняя движется по пути, расположенному в шлаковом коридоре, общем для всех групп колодцев. Вагонетка, груженная шлаком при помощи того или иного механизма (например, электровоза или лебедки с бесконечным канатом), передается в так называемый «скрапной» пролет блуминга, где шлак красном перегружается в железнодорожный вагон.

Коксовый шлак подается в железнодорожных вагонах в специальное помещение сбоку здания колодцев, где выгружается

<sup>1</sup> На рис. 50 показаны колодцы с камерами на 6 слитков каждая.

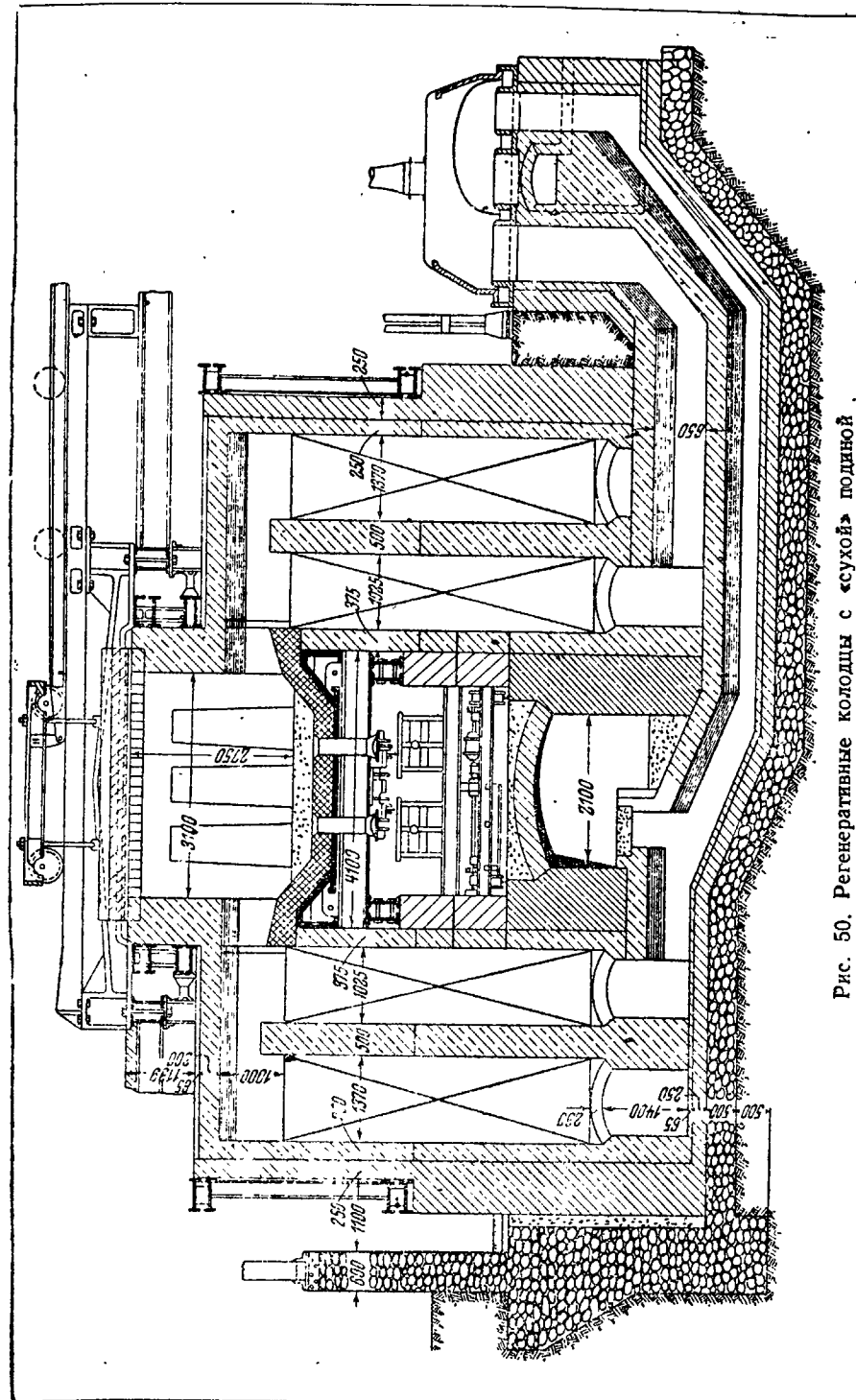


Рис. 50. Регенеративные колодцы с «сухой» подиной

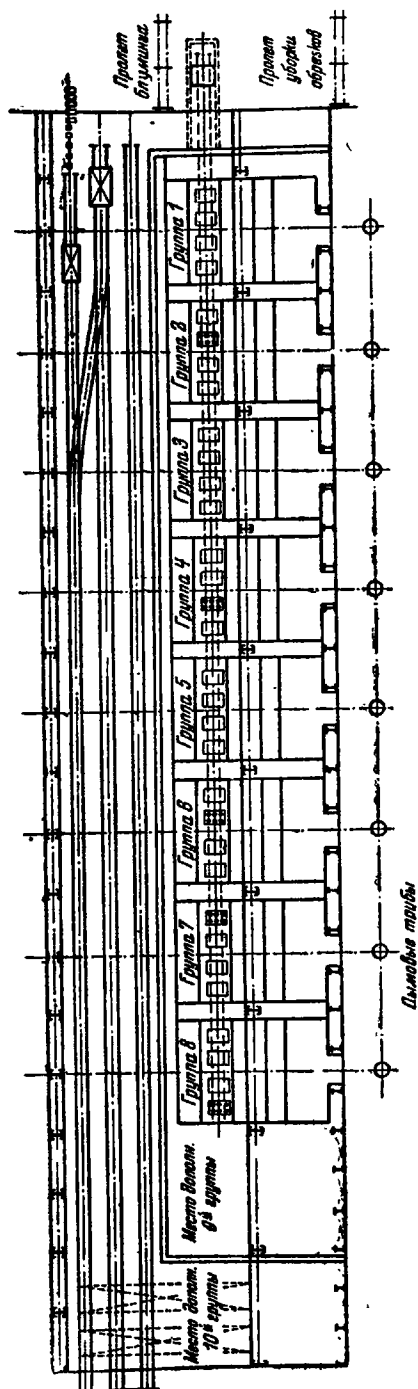


Рис. 51. План расположения колодцев

в бункер, а из него, по мере надобности, грейферным краном насыпается в нагонетку, которая по узкоколейному пути подается на рабочую площадку колодцев.

Газ и воздух в каждую камеру подаются самостоятельно. Воздух подается вентилятором, отдельным для каждой группы колодцев. Каждая группа колодцев имеет свою дымовую трубу.

Камера закрывается крышками, движущимися на колесах по направляющим. Механизм для передвижения — зубчатая рейка с приводом от электромотора.

Для современного блюминга с годовой производительностью 1700—2200 тыс. т требуется 8—10 групп нагревательных колодцев. Все группы размещаются (рис. 51) в здании, состоящем из двух пролетов. В первом пролете располагаются рабочие камеры колодцев с одной парой регенераторов и три железнодорожных пути, из которых два служат для доставки слитков из сталеплавильного цеха и один — для движения тележки, подающей слитки к блюмингу. Во втором пролете располагаются: вторая пара регенераторов, перекидные устройства на нижней площадке и регулировочные устройства — на верхней площадке.

Первый пролет шириной 27 м между подкрановыми

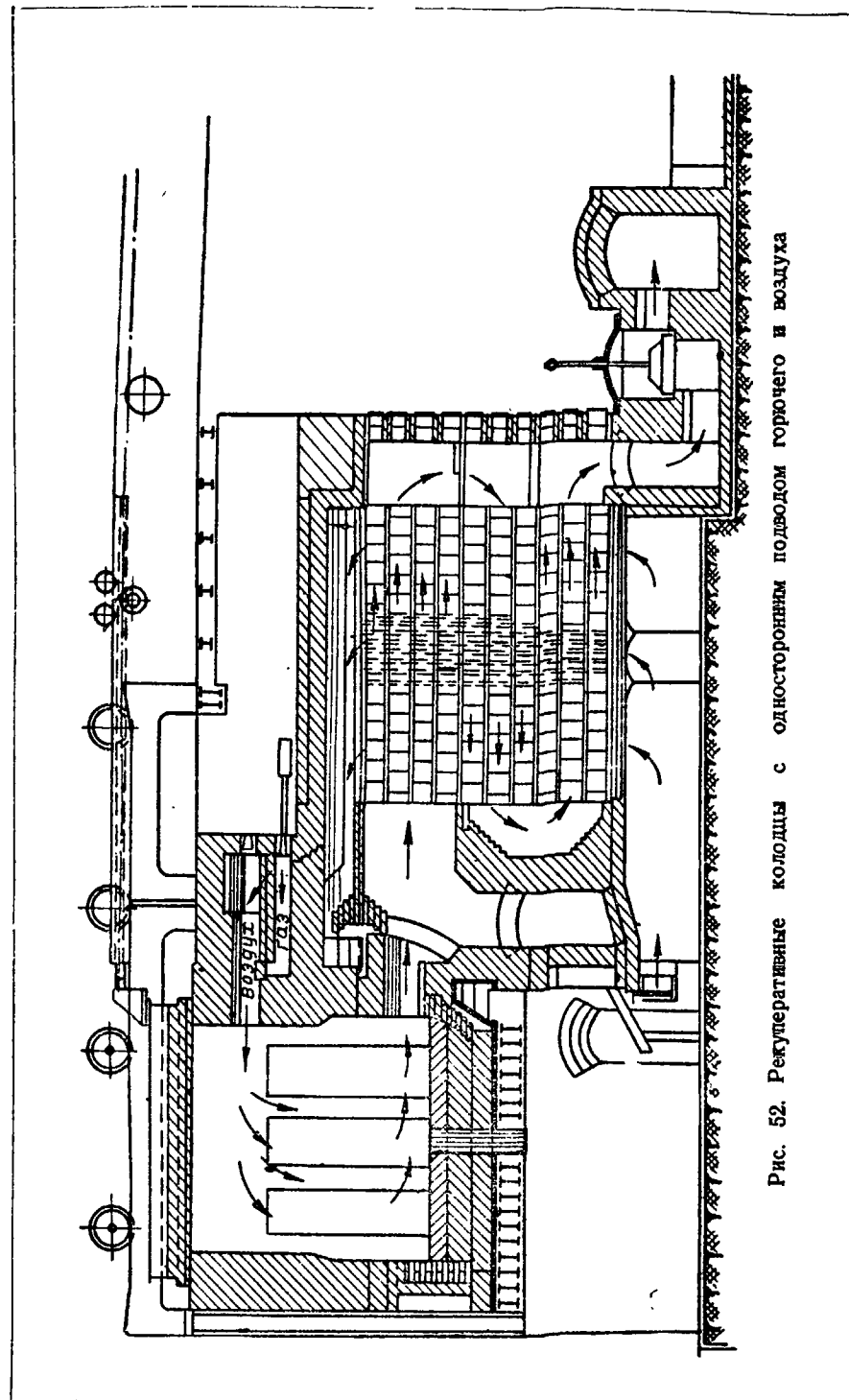


Рис. 52. Рекуперативные колодцы с односторонним подводом горячего и воздуха

путями обслуживается тремя мостовыми кранами специальной конструкции — так называемого колодезного типа. Грузоподъемность главного подъема различна, она зависит от веса слитка и находится в пределах 5—30 т для наибольшего числа нагревательных колодцев. Только в исключительных случаях грузоподъемность крана может превышать 30 т<sup>1</sup>. Грузоподъемность вспомогательного подъема колеблется от 5 до 10 т. Краны этого типа имеют подвижную жесткую мачту, внутри которой движется шток с клещами; шток может поворачиваться на 360°. Обычно из трех кранов один занят посадкой слитков в колодцы, другой — выдачей нагретых слитков на тележку, а третий находится в резерве.

Второй пролет шириной 11 м обслуживается монтажным краном грузоподъемностью 10 т.

Рекуперативные колодцы с боковыми горелками разделяются на две группы: в первой из них горелки располагаются с одной стороны, во второй — с двух сторон.

Колодцы первого типа показаны на рис. 52. В эти колодцы горючее и воздух подаются с одной стороны, с той же стороны выходят и продукты горения. Воздух, подогреваясь, движется по вертикальным каналам, а продукты горения — по горизонтальным. Колодцы этого типа начали строить с 1925 г., но большого распространения они не получили из-за присущего им недостатка, выражающегося в неравномерном нагреве слитков.

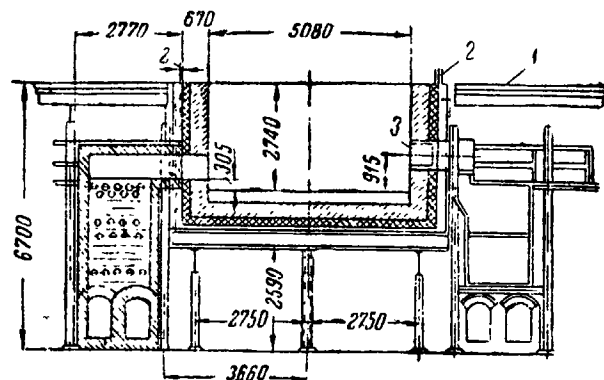


Рис. 53. Рекуперативные колодцы с подводом горючего и воздуха с двух сторон. Правая сторона разреза показывает расположение горелок, устанавливаемых в каждой торцевой стенке, а левая — расположение окон для выхода продуктов горения:

1 — уровень рельса, 2 — лист 6 мм, 3 — ось горелки  
(Бюлл. ЦНИИЧермет, 1944, № 11—12)

Колодцы с боковыми горелками второго типа (рис. 53) начали применять только в последнее время. В них вход

<sup>1</sup> Нагревательные колодцы специальных толстолистовых станков обслуживаются кранами грузоподъемностью до 60 т.

горючего и выход продуктов горения осуществляются с двух сторон. Камеры этих колодцев имеют размеры  $6 \times 4,5$  м и могут вмещать до 120—130 т слитков (24 слитка по 5,5 т или 12 слитков по 10 т).

Воздух подогревается в четырех карборундовых рекуператорах, расположенных с двух сторон камеры. Колодцы строятся в виде

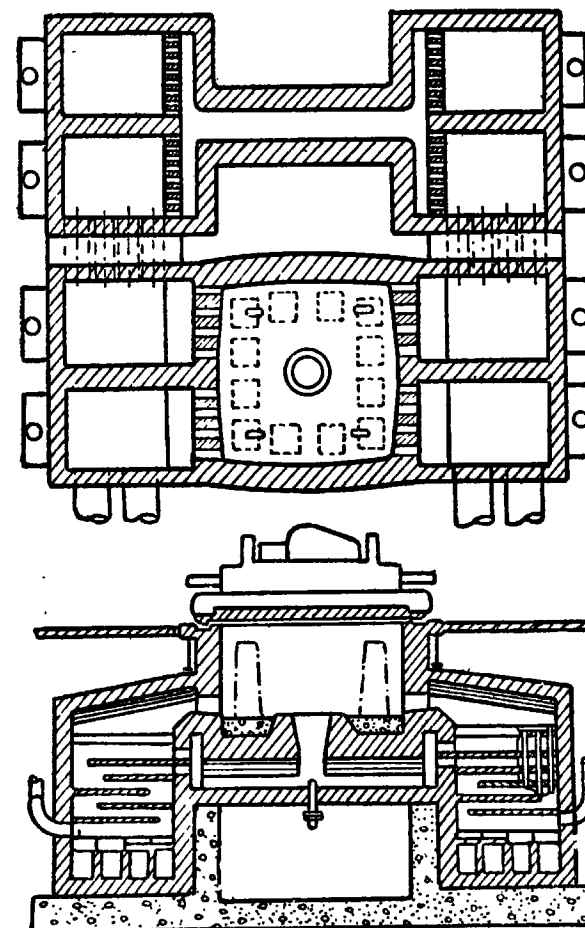


Рис. 54. Рекуперативные колодцы с центральной горелкой

групп с двумя камерами в каждой. Крышки снимаются и ставятся на место специальным краном.

Рекуперативные колодцы с центральной горелкой (рис. 54) по конструкции аналогичны предыдущим, отличаясь от них тем, что горючее здесь подводится через цент-



ральную горелку, расположенную в подине. Слитки устанавливаются вдоль всех стен. Воздух подогревается в четырех рекуператорах, расположенных с двух сторон рабочей камеры.

Круглые колодцы (рис. 55) имеют камеру цилиндрической формы, в которой слитки размещаются по периферии. Газ подается 15 горелками, расположенными равномерно по окружности в радиальном направлении или под углом  $37^{\circ},5$  к нему. Продукты горения уходят через центральное отверстие в трубу. Таким образом, здесь газ и воздух не подогреваются, хотя на некоторых заводах установлены рекуператоры для подогрева воздуха.

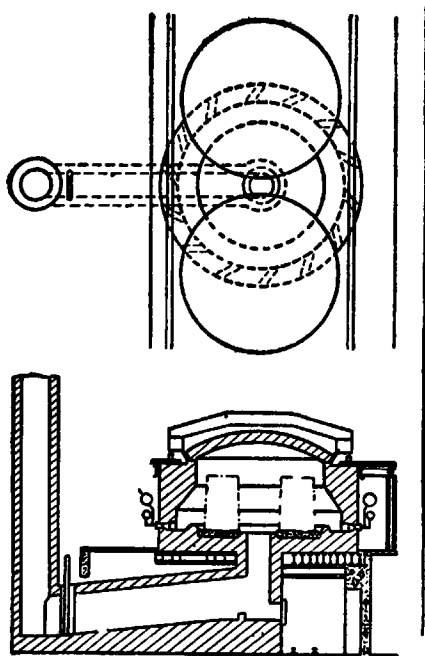


Рис. 55. Круглые колодцы

Во всех новых колодцах для регулирования нагрева слитков применяется автоматический контроль. Установка снабжена аппаратурой для пропорционирования газа и воздуха, а также для смешивания двух или более газов, для регулирования печной атмосферы, температуры и давления в камере. Принцип регулирования процесса нагрева основан на выработанном практикой соотношении между температурой отходящих газов, температурой слитков и количеством вводимого в печь тепла. Температура отходящих газов в боровых измеряется термопарами, в соответствии с показанием которых изменяется количество подаваемого в печь воздуха путем воздействия на мотор, приводящий в движение клапан в воздухопроводе. Одновременно изменяется и количество газа, подаваемого через газопровод, регулировка которого связана с регулировкой работы воздухопровода. В начальном периоде нагрева слитки поглощают наибольшее количество тепла. С повышением температуры слитков способность поглощать тепло падает, а вместе с тем автоматически уменьшается количество подаваемых воздуха и газа. Автоматический контроль дает экономии в расходе топлива, улучшает качество нагрева и снижает потери металла в окалину.

Нагрев слитков в колодцах второй группы. В колодцах второй группы, в отличие от колодцев первой группы, по-

садка и выдача слитков производятся целыми камерами. Другая особенность колодцев второй группы заключается в том, что работа ведется на так называемой «сухой» подине, т. е. без оплавления окалины. Это достигается прежде всего постепенным подъемом температуры в камере. Перед посадкой слитков температура камеры снижается до  $600-1000^{\circ}$  в зависимости от марки стали и температуры слитка. Затем начинается постепенный ее подъем до  $1300-1350^{\circ}$ ; на этом уровне температура поддерживается в течение некоторого промежутка времени перед выдачей слитков из камеры. В этом промежутке производится так назы-

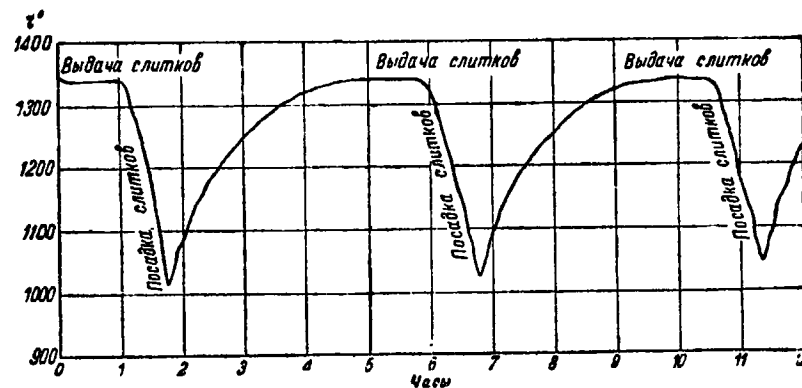


Рис. 56. Температурный режим нагрева слитков в колодцах второй группы. (Кривая указывает температуру стен камеры)

ваемая выдержка, или томление, слитков для лучшего выравнивания температуры их по всему объему. При этом главный шибер несколько прикрывается. Кроме того, для предупреждения оплавления окалины избыток воздуха должен быть небольшой (коэффициент избытка 1,1), так как в противном случае может получиться оплавление окалины даже при сравнительно невысоких температурах. При правильном ведении нагрева значительная часть окалины остается на слитке и предохраняет от окисления поверхностные пузыри при неглубоком их залегании. Получение неоплавленной окалины имеет большое значение для качества металла: при первых пропусках на блюминге она раздробляется и опадает в виде крупных пластин; оплавленная окалина может быть закатана, что портит поверхность готового продукта.

Диаграмма температурного режима в нагревательных колодцах второй группы приведена на рис. 56. Различают слитки горячей посадки с температурой наружной поверхности от  $400$  до  $1000^{\circ}$  и слитки холодного посада. В зависимости от марок стали нагреваемые слитки можно разделить на следующие четыре группы: слитки мягкой стали ( $< 0,3\% \text{ C}$ ), слитки среднеуглеродистой стали ( $0,3-$

0,6% С), слитки высокоуглеродистой стали ( $>0,6\%$  С), слитки легированной стали.

Время, потребное для нагрева слитков квадратного сечения (со стороной квадрата около 600—650 мм) весом 5,5—7 т, приведено в табл. 3.

Таблица 3

Температура слитка при посадке, °С	Слитки мягкой стали		Слитки средне углеродистые		Слитки высокоуглеродистые	
	температура стен камеры при посадке, °С	время на- грева, час.	температура стен камеры при посадке, °С	время на- грева, час.	температура стен камеры при посадке, °С	время на- грева, час.
0	900	6,0	700—800	8,0	600—700	10,0
400	1000	4,7	900	5,3	800	6,0
500	1000	4,3	1000	4,7	900	5,0
600	1200	4,0	1100	4,0	1000	4,0
700	1200	3,2	1200	3,2	1100	3,2
800	1200	2,5	1200	2,5	1200	2,5
900	1250	1,8	1250	1,8	1250	1,8
1000	1250	1,5	1250	1,5	1250	1,5

Данные таблицы изображены графически на рис. 57.

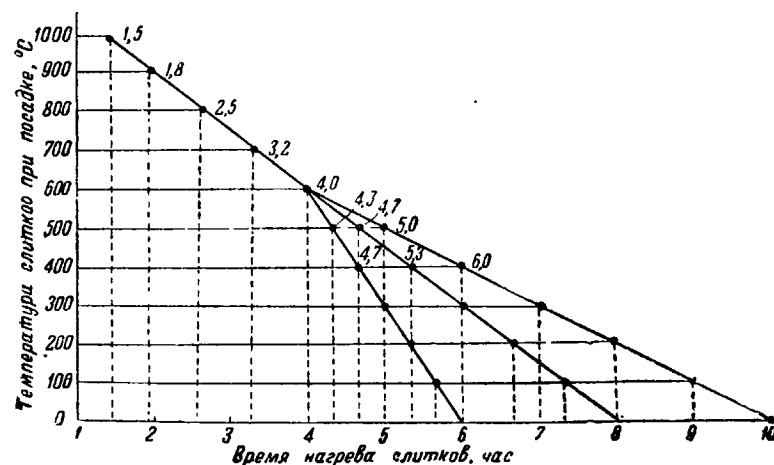


Рис. 57. График нагрева слитков в колющих

Слитки мягкой стали нагреваются до температуры 1200—1220°. Нагрев до более высокой температуры связан с оп-

давлением окалины. Слитки мягкой стали могут нагреваться довольно быстро — со скоростью 100—120 мм по толщине в час при холодной посадке. Перекидка клапанов в начальной стадии нагрева при холодной посадке делается через каждые 30 мин., а затем это время постепенно сокращается и доводится до 5 мин. в конце нагрева. Совершенно естественно, что при горячем посаде время между перекидками в начале нагрева короче, чем при холодном посаде, так как при этом график (рис. 57) получается как бы сдвинутым.

Слитки среднеуглеродистые (0,3—0,6% С) нагреваются до температуры 1150—1200° в зависимости от содержания углерода. Время нагрева слитков холодного посада будет больше, чем для мягкой стали; при горячем посаде с температурой 600° слитки могут нагреваться с такой же скоростью, как и мягкие. Температура стен камеры при посадке холодных слитков должна быть снижена до 700—800°.

Слитки с содержанием углерода больше 0,6% нагреваются еще медленнее, чем среднеуглеродистые. Температура стен камеры при холодном посаде снижается до 600—700° и поддерживается на таком уровне около 3 час., пока температура наружной поверхности слитков не достигнет 400°. После этого начинается подъем температуры стен в два этапа: в первом этапе за 3 часа температура стен достигает 1000°, во втором за 2 часа 1250—1300°, и на этом уровне поддерживается 2 часа. Температура нагрева стали находится в пределах 1100—1150°.

Слитки легированных марок стали нагреваются различно, в зависимости от химического состава. Например, хромоникелевые, хромованадиевые стали должны быть нагреты до температуры 1250°, никелевые стали представляют противоположный пример, когда температура нагрева их не должна превышать 1100°. Режим нагрева слитков всех марок подчиняется тому, который применяется при слитках с содержанием углерода более 0,6%.

Заправка подины имеет большое значение для работы нагревательных колодцев. В колодцах второй группы заправка подины делается один раз в сутки, когда удаляется весь шлак вместе с застрявшим шлаком. Кроме того, после каждой садки делается подсыпка шлама для выравнивания подины.

При спуске шлака летка пробивается ломом, а в случае затруднений — прожигается кислородом. Чтобы легче было очистить подину от шлака, температура ячейки повышается до 1350—1370°. Шлак делается жиже и стекает через летку. Во время чистки ячейки газ и воздух выключаются и тепло из камеры вытягивается трубой, чем облегчается работа людей. Операция очистки шлака и заправки подины требует около одного часа. После заправки подина должна быть хорошо прогрета, иначе низ слитка будет холодный.

### 3. Производительность нагревательных колодцев

Примем следующие обозначения:

$G$  — вес слитка в т,

$n$  — число слитков в одной камере,

$t$  — продолжительность цикла нагрева садки, включающая время собственно нагрева по графику и время, необходимое на вспомогательные операции для одной садки (посадка, выдача и подправка подины).

Суточную производительность одной камеры можно выразить формулой:

$$A = \frac{24 \cdot G \cdot n}{t},$$

где 24 — число часов в сутках.

Это — теоретическая, или технически возможная, производительность. Для получения практической производительности необходимо внести поправочный коэффициент, учитывающий: простои блуминга, задержки в подаче слитков из мартеновского цеха, некоторые отклонения от графика из-за одновременной готовности слитков в нескольких камерах к выдаче и разные случайные задержки.

Практически все эти задержки в работе колодцев учитываются коэффициентом, равным  $\sim 0,70$ ; следовательно, практическая суточная производительность колодцев будет равна:

$$A \approx \frac{17 \cdot G \cdot n}{t}. \quad (26)$$

При одних и тех же значениях  $G$  и  $n$  время  $t$  будет меняться в зависимости от температуры слитков, подаваемых в камеры, и от марок стали. Обычно в практике принимают: количество горячих слитков с температурой  $400-1000^\circ-80\%$ , количество холодных слитков —  $20\%$ , среднюю температуру горячих слитков  $600^\circ$ .

В соответствии с данными табл. 3 среднее время нагрева горячих слитков будет равно 4 час. Среднее время нагрева холодных слитков будет зависеть от количества нагреваемых слитков с большим содержанием углерода. Если это количество принять равным  $30\%$  от общего, то при продолжительности нагрева в 9 час. среднее время нагрева всех посаженных холодных слитков составит  $(6 \times 0,70) + (9 \times 0,30) \approx 7$  час.

Средняя продолжительность нагрева слитков горячего и холодного посада:

$$(4 \times 0,8) + (7 \times 0,2) = 4,6 \text{ час.}$$

Посадка и выдача 8 слитков из одной камеры для современных блумингов производится за 12—15 мин. (0,20—0,25 час.). Столько же времени нужно израсходовать и для заправки подины после

каждой посадки. Следовательно, полное время одного цикла нагрева будет составлять:

$$4,6 + 3(0,20 \div 0,25) \approx 5,3 \text{ час.}$$

Это время может конечно меняться для различных условий. Например, для камер, вмещающих 16 слитков, вспомогательное время вырастет до 1 часа; наоборот, при меньшем числе слитков оно уменьшится до 0,5 часа. Если принять за среднюю величину 5,3 часа, то производительность  $A_1$  получается равной

$$A_1 \approx 3,2 \cdot G \cdot n. \quad (27)$$

Пример. Требуется определить число групп регенеративных колодцев для блуминга, прокатывающего  $70\%$  слитков мягкой стали весом 8 т каждый и  $30\%$  слитков крепкой стали весом 5 т каждый. Средняя суточная производительность блуминга 6000 т. Средний вес слитка:

$$(8 \times 0,7) + (5 \times 0,3) = 7,1 \text{ т.}$$

Число слитков в камере принимаем равным 8.

Пропускная способность одной камеры:

$$A_1 = 3,2 \cdot 7,1 \cdot 8 = 182 \text{ т.}$$

Пропускная способность одной группы:

$$182 \times 4 \approx 730 \text{ т.}$$

Необходимое число работающих групп колодцев:

$$6000 : 730 \approx 8.$$

Кроме того, надо иметь одну группу в запасе и ремонте. Следовательно, общее число групп колодцев будет равно 9.

## ГЛАВА 3

## ПРОКАТКА БЛУМОВ И СЛЯБОВ

## 1. Блуминг, общая характеристика

Блуминг современной конструкции представляет обычно реверсивный стан дуо с рабочими валками, имеющими диаметр 800—1150 мм, длину бочки от 2000 до 2800 мм, диаметр шестеренных валков на 50—100 мм больше диаметра рабочих валков. Конечно, встречаются и отклонения от этих размеров в ту и другую сторону, но они не характерны. Так, имеются блуминги при универсальных балочных станах с валками диаметром 1370 мм, с длиной бочки валка 3050 мм.

С другой стороны, встречаются блуминги с валками  $\varnothing 700 \times 1750$  мм для прокатки слитков качественных сталей весом 2 т.

## 2. Конструкция блуминга

Для блумингов применяют валки стальные кованные, либо стальные литые. В обоих случаях валки должны быть подвергнуты однократному или двукратному отжигу.

Материалом для валков является сталь углеродистая или легированная, причем легирующими элементами могут быть марганец до 1,00%, хром до 1,10%, никель до 2,50% и молибден до 0,60%. Содержание углерода находится в пределах 0,50—1,25%. Легирующие элементы добавляются для предотвращения образования тепловых трещин на поверхности валков блуминга, работающих в тяжелых условиях. При прокатке слитков часть поверхности валков непосредственно соприкасается с нагретым металлом и сильно разогревается. В результате отдельные части валка оказываются различно нагретыми и различно расширяются, что и приводит к образованию трещин. Для уменьшения нагрева валков их поливают водой. Однако эта мера не предупреждает полностью нагрева поверхности валков и образования трещин, она может только несколько ослабить этот процесс. Трещины при каждой переточке должны удаляться, но полное удаление их не всегда можно гарантировать, так как могут оставаться микроскопические трещинки, которые при дальнейшей работе валка углуб-

ляются, уменьшая его прочность. В случае неправильной эксплуатации валков иногда образуются сплошные кольцевые трещины глубиной до 60 мм. Если такие трещины получаются, например, у валка диаметром 850 мм, то его прочность уменьшается на 25%.

Кованные валки должны иметь уковку не менее трехкратной. Практика установила, что тепловые трещины у кованных валков развиваются в меньшей степени, чем у литых. Для лучшего захвата слитка валками на поверхности их делают насечки, хотя на некоторых блумингах применяют валки без насечек, в особенности при прокатке качественных сталей.

Валки блуминга за время их работы периодически перетачиваются, причем уменьшение диаметра допускается до 10% от начального. За это время они пропускают до 250—300 тыс. т слитков в среднем.

Вкладыши. Для шеек валков блумингов применяются вкладыши бронзовые, бронзовые с баббитовыми вставками, баббитовые с бронзовыми вставками и текстолитовые. На одном из слябингов впервые установлены роликовые подшипники.

Смазка для шеек валков при металлических вкладышах применяется густая с подачей под давлением. Для текстолитовых вкладышей смазкой служит вода. Вкладыши валков работают в разных условиях. В наиболее тяжелых условиях работает вкладыш нижнего валка со стороны шестеренной клетки, поэтому продолжительность его службы обычно в несколько раз меньше, чем у других вкладышей стана.

Перевалка валков осуществляется различными способами.

1. При помощи крана. Валок, подвешенный к крюку крана, вынимается между станинами. Этот способ применяется преимущественно на старых блумингах; он неудобен и требует много времени.

2. При помощи тележки, движущейся от электромотора (рис. 58). Тележка вкатывается в просвет между станинами, и каждый валок удаляется в отдельности или оба валка удаляются сразу, после чего таким же способом подаются новые валки. Более сложное устройство, основанное на этом принципе, показано на рис. 59. Оно состоит из движущейся платформы, на которой имеются две тележки — одна для приема выработанных валков, а другая для подачи в стан новых валков.

3. При помощи муфты (рис. 60), имеющей на концах форму тrefа. Муфта надевается одним концом на тref нового валка, другим — на конец того, который находится в стане и должен быть сменен. В таком положении, т. е. с двумя валками, муфта отводится краном в сторону до тех пор, пока валок не выйдет за пределы станины. После этого муфта с валками поворачивается на 180°, и новый валок подается в клеть.

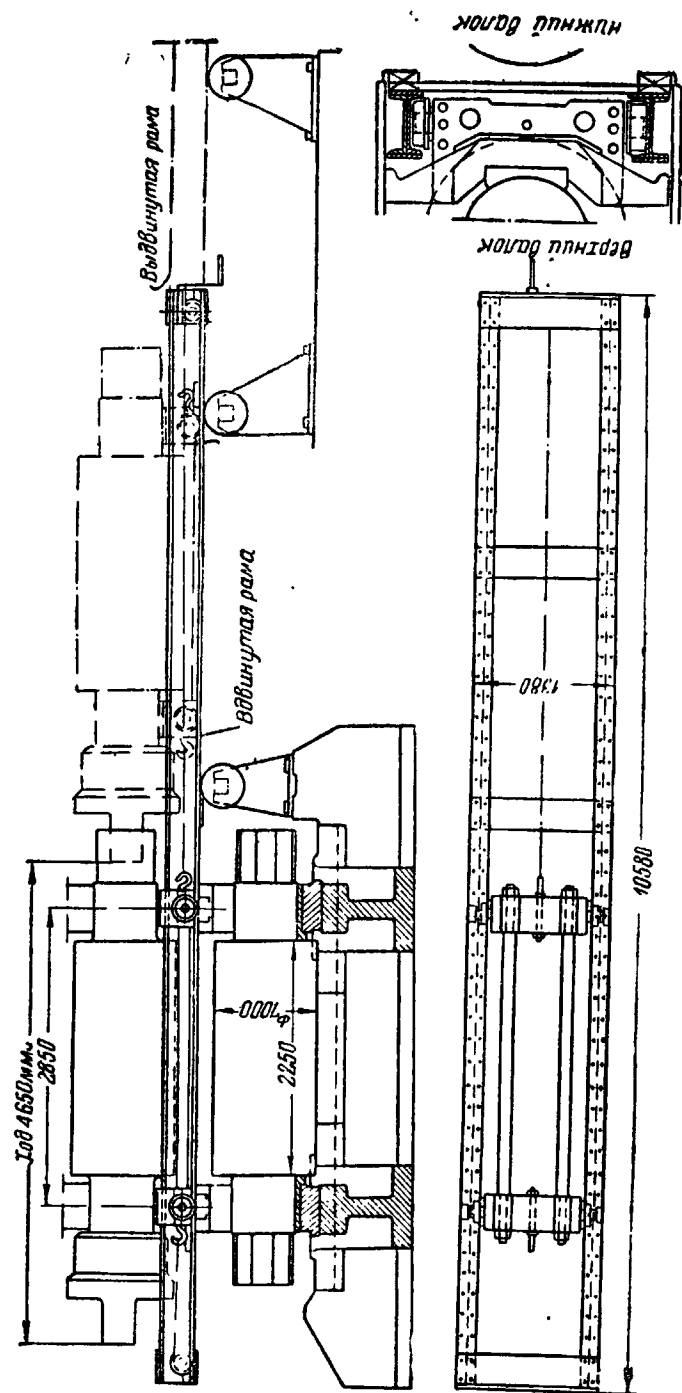


Рис. 58. Тележка для перевалки валков блуминга

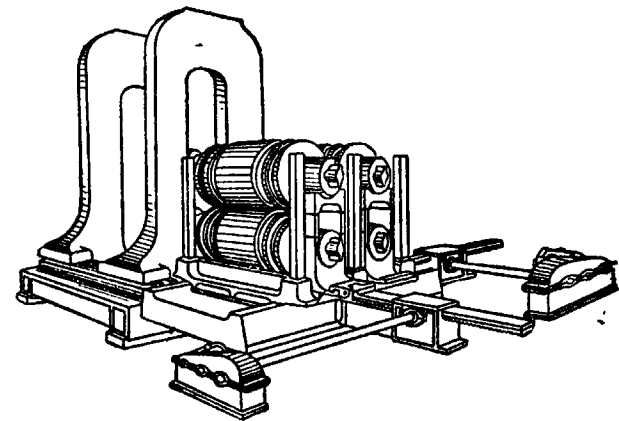


Рис. 59. Схема перевалки валков с помощью тележки

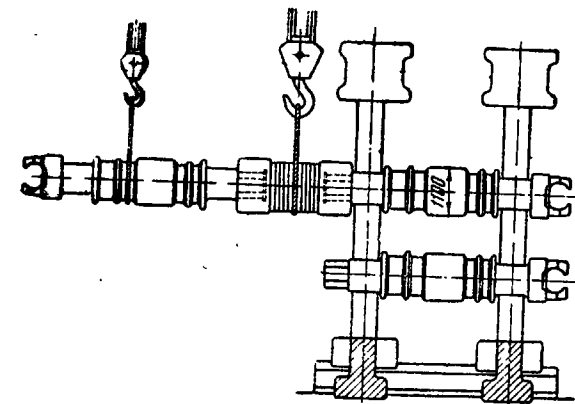


Рис. 60. Перевалка валков муфтой

4. При помощи С-образной муфты (рис. 61). Муфта надевается на конец валка и валок вынимается из стана. Таким способом по очереди меняются оба валка.

Нажимной и уравнивающий механизмы. Верхний валок реверсивного блюминга может подниматься и опускаться. Поэтому в одном калибре можно делать несколько пропусков, что способствует большой гибкости работы реверсивного блюминга. Высота подъема верхнего валка блюминга колеблется в широких пределах и зависит, главным образом, от того, прокатывают

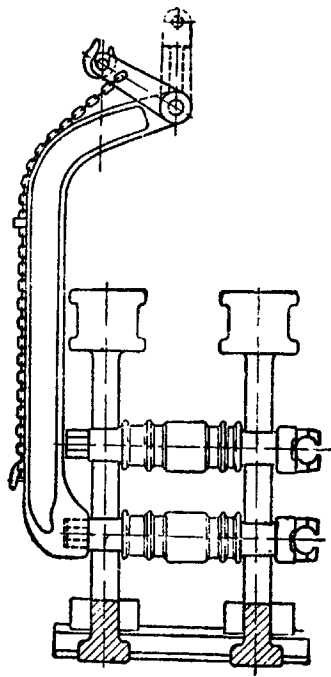


Рис. 61. Перевалка валков С-образной муфтой

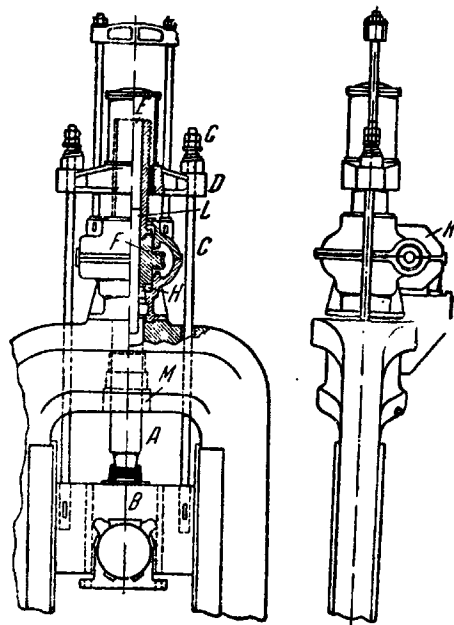


Рис. 62. Пружинное уравнивание верхнего валка блюминга

ли на данном блюминге широкие слябы. В этих случаях подъем валка достигает наибольшей величины — 1680 мм. При прокатке блюмов и узких слябов величина подъема верхнего валка выбирается в пределах 900—1000 мм.

Привод нажимных винтов осуществляется двумя электромоторами мощностью по 150—200 л. с. каждый, причем мощность берется с таким расчетом, чтобы при выходе из строя одного из них второй мог бы самостоятельно производить работу.

Скорость передвижения нажимных винтов у современных блюмингов достигает 150 мм/сек.

Верхний валок должен быть уравновешен. Применяются три системы уравнивания — пружинная, гидравлическая и грузовая.

Пружинное уравнивание верхнего валка устроено следующим образом (рис. 62). Каждая подушка верхнего валка *B* подвешивается посредством тяг *C* и буферных пружин *G* к поперечной траверсе *D*, имеющей внутри гайку, в которой вращается полый винт *E*, соединенный наглухо с червячным колесом *F*, приводимым во вращение от мотора *K*. Винт *E* и червячное колесо *F* имеют квадратные отверстия, внутри которых помещается верхняя часть *L* нажимного винта с квадратным сечением. Нижняя часть нажимного винта *A* имеет нарезку и движется в гайке *M*, вставленной в станину. При вращении червячного колеса *F* начинает вращаться одновременно с ним и полый винт *E*, который передвигает траверсу *D* с тягами *C* и, следовательно, также подушку с валком, и нажимной винт *A*, который при подъеме вверх как бы освобождает место для поднимающейся подушки с валком, а при опускании вниз нажимает на подушку. Буферные пружины рассчитываются не только на преодоление веса верхнего валка и подушек, но и на создание достаточного давления, обеспечивающего устойчивое положение нажимных винтов во время прокатки без отдачи. В действительности же всегда имеет место некоторая отдача винтов.

Величина подъема верхнего валка отмечается на циферблате стрелкой, движение которой передается от нажимного механизма.

Схема гидравлического уравнивания показана на рис. 63. Гидравлические цилиндры *a* расположены наверху станин. Штоки *б* действуют на траверсы *в*, к которым на тягах *г* подвешены подушки.

Механизм грузового уравнивания (рис. 64) располагается под станинами. Тяги от верхних подушек проходят сквозь нижние подушки и станины и внизу соединяются общей траверсой, к которой шарнирно присоединяются рычаги с грузами.

Как при гидравлическом, так и при грузовом уравнивании винты перемещаются от электромоторов.

Каждая из этих конструкций уравнивания верхнего валка имеет свои преимущества и недостатки. При пружинном и гидравлическом уравнивании все механизмы располагаются наверху и более доступны для осмотра и ремонта; при грузовом уравни-

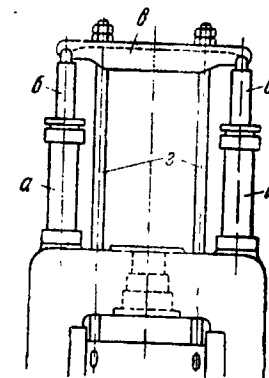


Рис. 63. Гидравлическое уравнивание верхнего валка блюминга

шивании уравнивающие механизмы находятся под рабочей клетью. С другой стороны, оборудование пружинного и гидравлического уравнивания более сложно, чем грузового, причем для гидравлического уравнивания требуется специальная установка с насосами и аккумуляторами. Эксплуатация такой

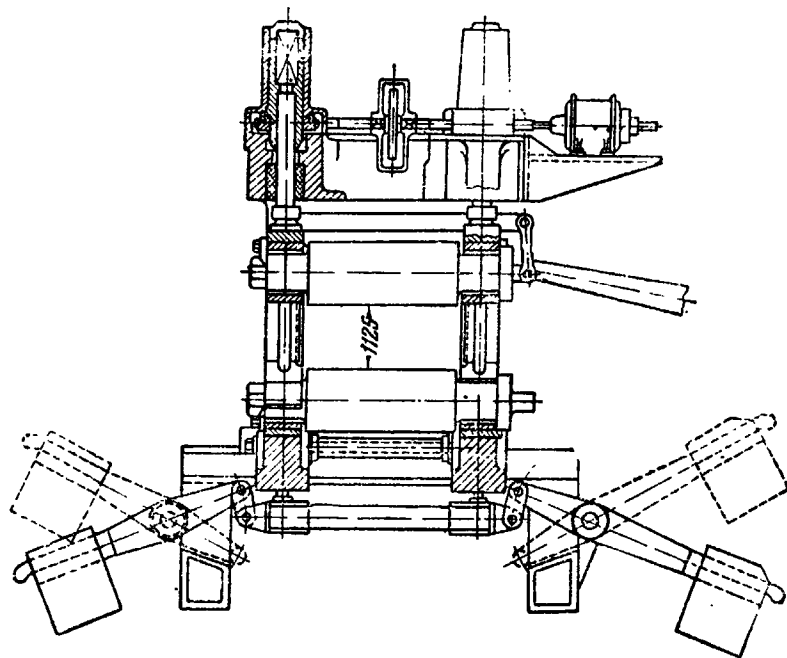


Рис. 64. Грузовое уравнивание верхнего вала блюминга

гидравлической системы в условиях сурового климата (например, в некоторых районах СССР) затруднительна.

**Соединительные шпиндели.** Рабочие и шестеренные валки современных блюмингов соединяются универсальными шпинделями, в основе конструкции которых лежит принцип шарнира Гука. Концы рабочих и шестеренных валков делаются плоскими (рис. 65), с вырезами. Эти плоские концы входят в прорези в головках шпинделей. Сквозь отверстия в шпинделях и вкладышах, вставленных в прорези концов валков, проходит соединительный болт, относительно которого совершается вращение шпинделя в одной плоскости. Вращение его в плоскости, перпендикулярной к первой, осуществляется благодаря тому, что вкладыши имеют сферическую поверхность, на которую опирается сферическая же внутренняя поверхность головки шпинделя.

У современных блюмингов плоские концы шестеренных валков делаются удлиненными, чтобы можно было сдвинуть на них шпиндели с плоских концов рабочих валков. Это перемещение

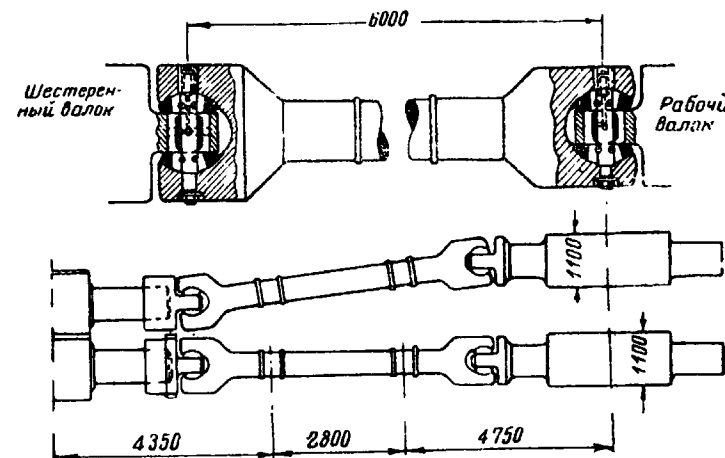


Рис. 65. Шарнирный шпindel

шпинделей осуществляется посредством тяг и рычагов, приводимых в движение от электромотора, установленного наверху шестеренной клетки (рис. 66). Благодаря такой конструкции время, за-

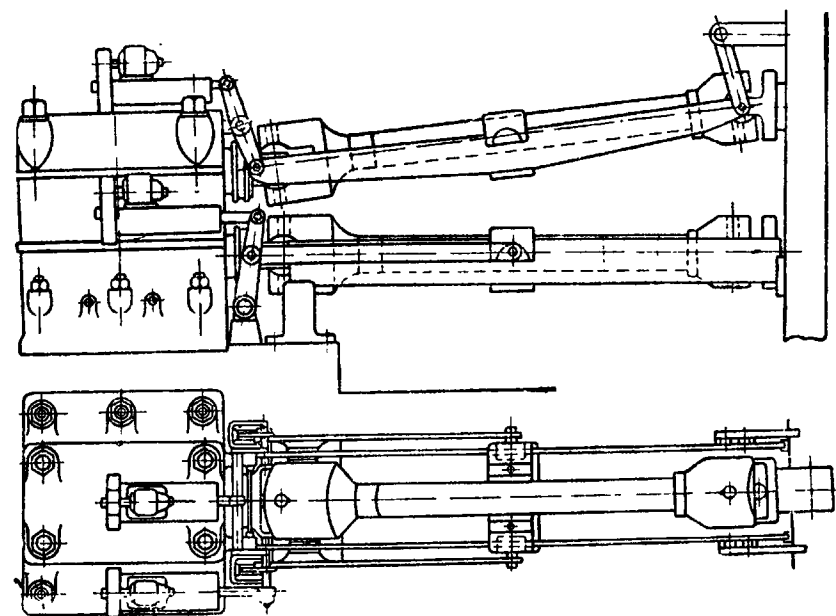


Рис. 66. Механизм для разъединения шпинделя с валками

трачиваемое на смену валков, уменьшается по крайней мере на 2 часа по сравнению с временем, затрачиваемым на смену валков у блюмингов другой конструкции.

**Манипуляторные линейки и кантователи.** Во время прокатки на блюминге слиток приходится перемещать от калибра к калибру вдоль бочки валков и кантовать для чередования обжимаемых сторон. Это осуществляется манипуляторами

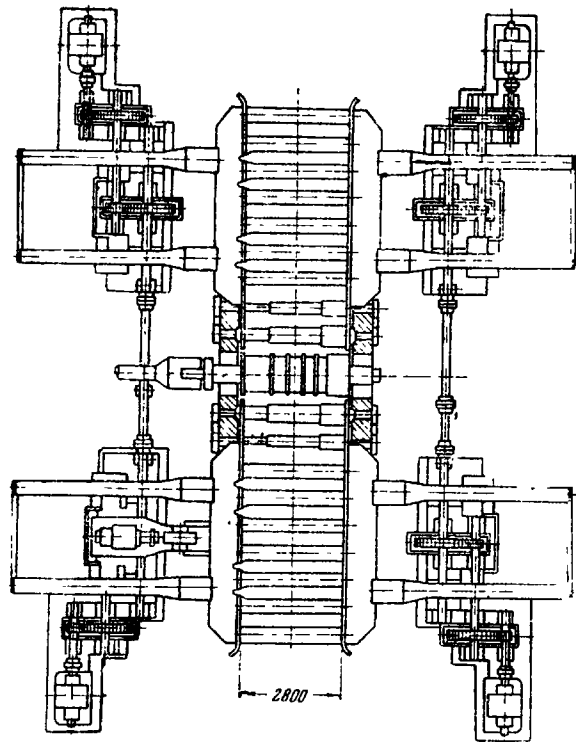


Рис. 67. Двухсторонний манипулятор блюминга

с кантователями, состоящими из следующих частей (рис. 67): 1) четырех линеек — по две с каждой стороны клетки, 2) трех-четырех кантовальных пальцев, расположенных на линейке с передней стороны стана (рис. 68) (у некоторых новых блюмингов, прокатывающих много слябов, кантовальные пальцы имеются с обеих сторон стана).

Линейки передвигаются при помощи зубчатых реек, приводимых в движение от электромоторов, со скоростью до 1100 мм/сек.

По конструкции различают двухсторонний и односторонний манипуляторы. Схема двухстороннего манипулятора показана на

рис. 67. Привод линеек у этого манипулятора расположен с обеих сторон рольганга.

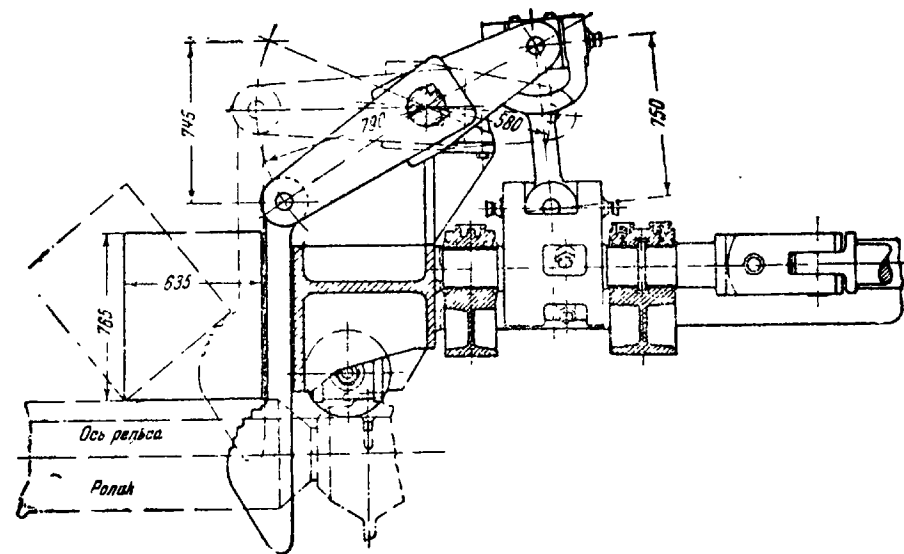


Рис. 68. Кантовальный аппарат блюминга

У одностороннего манипулятора (рис. 69) привод линеек располагается с одной стороны рольганга, что дает известные преимущества, так как при таком расположении привода одна сторона

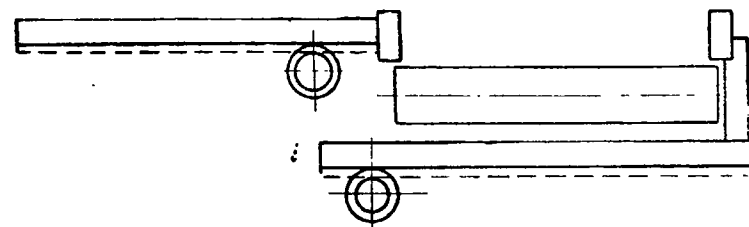


Рис. 69. Схема одностороннего манипулятора

стана остается свободной и, следовательно, более доступной для обслуживания.

У манипулятора любой конструкции движение линеек каждой пары (левых и правых) должно быть строго синхронным, во избежание установки одной из линеек на пути движения слитка. Поэтому обе правые и обе левые линейки соединены попарно продольными валами.



Линейки служат также для выпрямления слитков, если они по какой-либо причине несколько изгибаются по длине.

Длина линеек у новых блумингов достигает 10—11 м.

Рольганги. С передней и задней сторон рабочей клетки блуминга имеются рольганги. В соответствии с выполняемой работой различают рольганги (рис. 70): 1) подводящий, или приемный; его назначение — принимать слитки, подаваемые к стану тележкой от нагревательных колодцев; 2) рабочие, расположен-

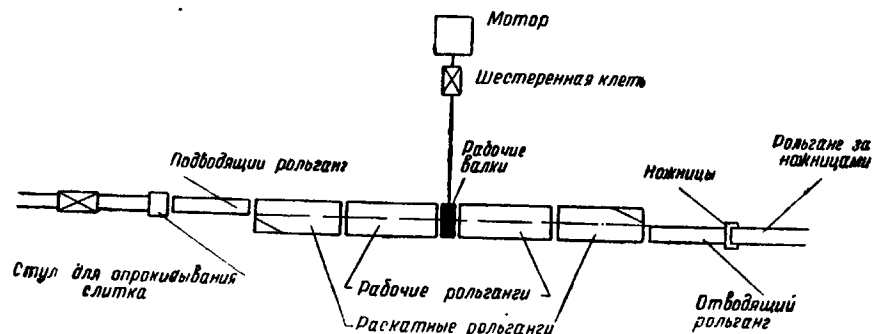


Рис. 70. Рольганги блуминга

ные непосредственно перед станом и за ним; эти рольганги выполняют главную часть работы при прокатке слитков; 3) раскатные, располагающиеся непосредственно за рабочими и помогающие им в работе по достижении слитком такой длины, при которой он выходит за пределы рабочих рольгангов; 4) отводящий рольганг, по которому раскатанные слитки направляются к ножницам. Кроме того, имеется рольганг, расположенный за ножницами и служащий для уборки порезанных блюмов или для передачи их к другим станам.

Привод блуминга. Существующие блуминги имеют привод валков от электромоторов и от паровых машин. В течение последних 25 лет на блумингах устанавливаются исключительно электромоторы. Паровой привод следует считать отжившим, поэтому в дальнейшем он не рассматривается.

Наиболее распространен в настоящее время мотор с нормальной мощностью  $N=7000$  л. с. и с максимальным выключающим моментом  $M_{\max} \approx 300$  тм. Такой момент мотор имеет при числе оборотов до 50 в минуту; при возрастании числа оборотов сверх 50 в минуту момент мотора пропорционально<sup>1</sup> уменьшается. Наибольшее число оборотов мотора 120 в минуту. Агрегат Ильгнера при таком моторе состоит из индукционного мотора  $N=5000$  л. с.,  $n=375$  об/мин и двух динамомашин постоянного тока каждая в 3000 кв,  $n=375$  об/мин. Маховик весит около 60 т. Описанный

<sup>1</sup> Приблизительно.

выше электропривод устанавливается для блумингов с диаметром валков 1000 мм и больше. Для блумингов с валками меньшего диаметра берутся моторы меньшей мощности: при валках диаметром 850—950 мм мотор имеет мощность  $N=5000$  л. с. и  $M_{\max}=220$  тм; при валках диаметром 800—850 мм мотор имеет мощность  $N=3500$  л. с. и  $M_{\max}=150$  тм.

Указанное наибольшее число оборотов мотора мощностью в 7000 л. с. используется при прокатке слитков в тех пропусках, при которых они получают значительное удлинение. В большинстве случаев длина прокатанной заготовки находится в пределах 12—20 м, редко достигает 25 м. Однако при прокатке крупных блюмов и слябов эта длина получается значительно меньше, так как наибольший вес слитков при прокатке крупных слябов на блуминге не превышает 12 т, при прокатке блюмов — 8 т. В таких случаях полное число оборотов мотора не используется. С другой стороны, чрезвычайно важен вопрос о наибольшем моменте, который может развить двигатель. Как увидим дальше, при прокатке слябов величина обжатия зависит исключительно от мощности двигателя. В соответствии с характером работы блумингов при прокатке крупных блюмов и слябов в последнее время встречаются установки с моторами, имеющими такую характеристику (табл. 4):

Таблица 4

Мощность мотора л. с.	Число оборотов в минуту	Наибольший крутящий момент, тм
7000	0—40—100	375
7000	0—30—75	500

Для более тяжелых блумингов берут два мотора по 5000 л. с.,  $n=0—40—80$ , с приводом каждого валка от отдельного мотора (рис. 71), развивающего наибольший крутящий момент в 272 тм. Суммарный наибольший момент двух моторов составляет, следовательно, 544 тм.

Ножницы. Для обрезки концов и резки прокатанного слитка на мерные длины при блуминге имеются ножницы, которые устанавливаются на расстоянии 25—60 м от оси стана.

Мощность ножниц выбирается в соответствии с размерами блюмов и слябов, подлежащих резке; она зависит от трех главных факторов:

- 1) сечения разрезаемого металла,
- 2) температуры металла в момент резки,
- 3) сопротивления металла срезу.

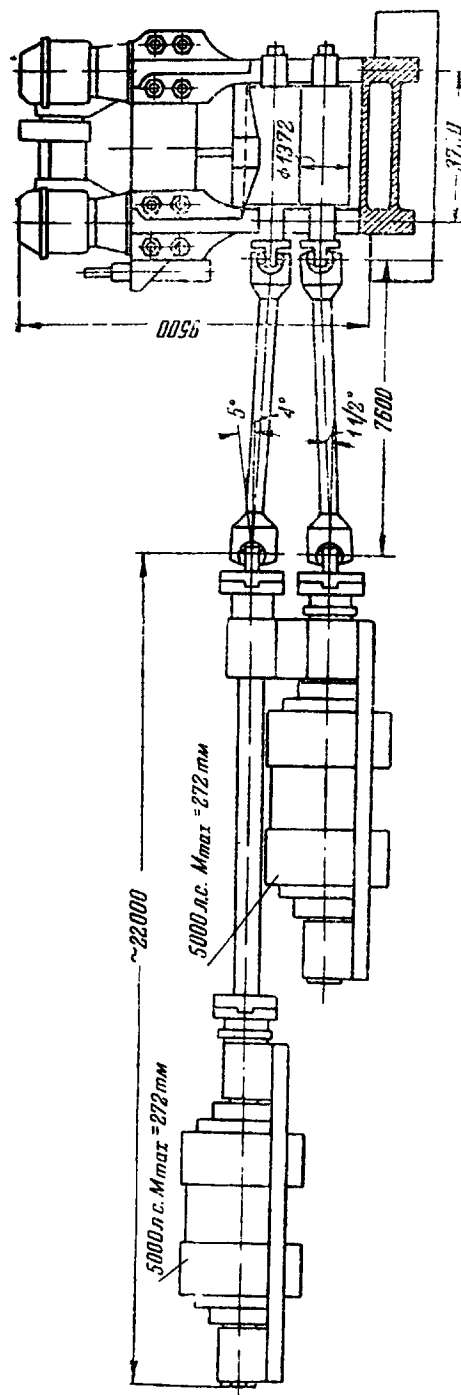


Рис. 71. Блуминг с двухмоторным приводом

Рассматривая вопрос практически, следует принять, что последние два фактора являются постоянно действующими почти при всех условиях, исходя из следующих соображений:

1) температура металла в момент резки должна соответствовать не тем нормальным условиям прокатки, когда процесс производства во всех стадиях протекает ритмично, а случаям, отклоняющимся от этих последних, т. е. когда прокатка слитка и подача его к ножницам происходят с задержкой; в этих случаях температура металла значительно снижается и может дойти до 900° вместо нормальной 1100—1150°;

2) хотя предел прочности стали, прокатываемой на блюмингах, изменяется в широких пределах, но для определения мощности ножниц должен быть принят наибольший при данных условиях работы стана; например, при прокатке блюмов необходимо ориентироваться на сталь с содержанием углерода до 1%, как требующую наибольшего давления при резке; слябы прокатываются обычно из слит-

ков мягкой стали, но могут быть случаи прокатки слитков с более высоким содержанием углерода; для таких случаев вопрос может решаться индивидуально.

По практическим данным<sup>1</sup>, предел прочности при растяжении с различным содержанием углерода при температуре 900° может быть принят следующим:

Содержание углерода, %	Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup>
0,1	7
0,5	11
1,0	16

Эти цифры необходимо снизить на 20% для получения величины сопротивления деформации при резке.

В обычных случаях применяются ножницы мощностью 800 т. Для резки крупных слябов мощность ножниц достигает 3600 т. Приведем здесь несколько характеристик установленных ножниц (табл. 5).

Таблица 5

Заводы	Мощность ножниц, т	Наибольшее разрезаемое сечение мм×мм	Система ножниц
А	900	300×330	Электрические открытые
Б	1200	400×400	То же
В	3000	1170×560	Парогидравлические закрытые
Г	3000	1520×610	То же

По конструкции различают ножницы следующих основных категорий: 1) открытые (рис. 72) и закрытые (рис. 73), 2) с верхним и нижним резом, 3) комбинированные.

У открытых ножниц с одной стороны ножей находится станина, другая сторона остается свободной. Закрытые ножницы имеют две колонны, между которыми располагаются супорты с ножами.

В ножницах с верхним резом (рис. 73) нижний нож делается неподвижным. Для устранения давления на ролики рольганг за ножницами делается опускающимся во время реза.

При нижнем резе (рис. 72) оба ножа делаются подвижными и процесс резки протекает следующим образом: сначала движется верхний нож, который останавливается, как только коснется разрезаемой полосы; после этого нижний нож производит резку.

Для установки длины отрезаемых блюмов и слябов за ножницами имеется упор, одна из конструкций которого показана на

<sup>1</sup> «Блуминг, слябинг, ножницы и устройство для уборки блюмов и слябов», под редакцией инж. А. В. Истомина. ОНТИ НКТП, 1936, стр. 115.

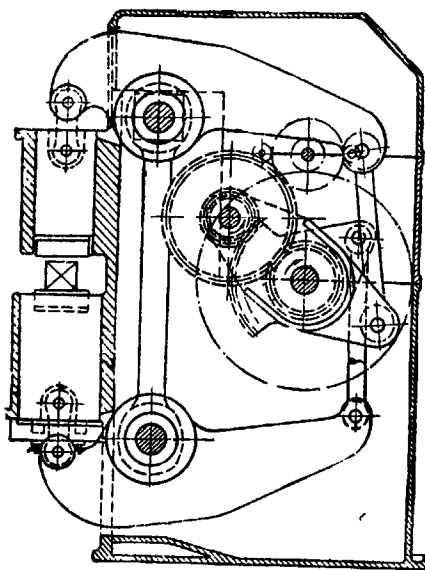


Рис. 72. Открытые ножницы

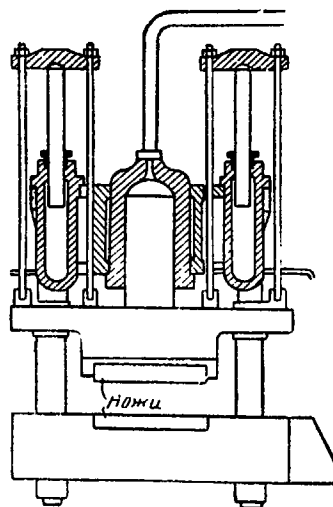


Рис. 73. Закрытые ножницы

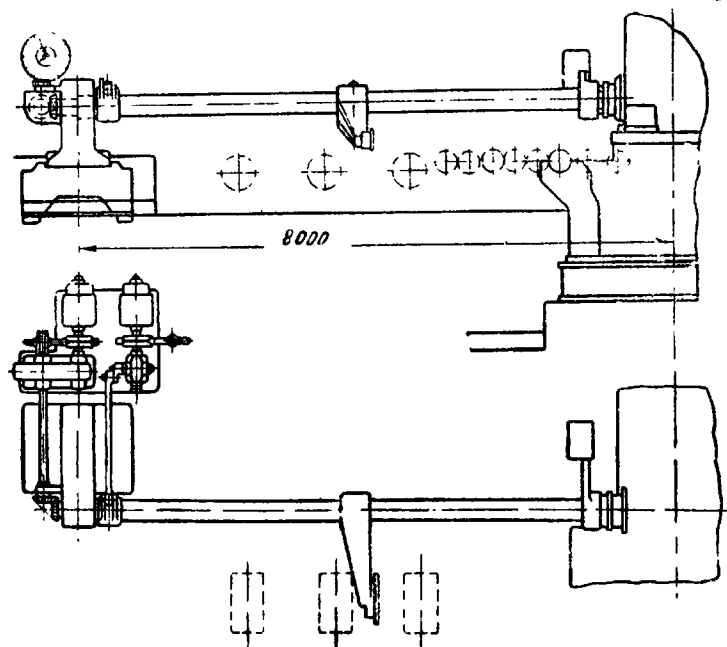


Рис. 74. Упор за ножницами

рис. 74. Он состоит из полого вала, внутри которого вращается от мотора винт, передвигающий упор. Второй мотор служит для поворота полого вала при опускании упора на рольганг с целью удержания полосы при резке.

На некоторых блумингах за ножницами устанавливают весы для взвешивания блумов и слябов. Они помещаются сбоку отводящего рольганга таким образом, что рычаги их соединяются с подъемными пальцами, которыми блум или сляб приподымается над рольгангом. Вес блума или сляба при этом действует на рычаги и регистрируется весами.

Уборка блумов и слябов от ножниц. Направление потока металла зависит от того, с какими станами блуминг связан непосредственно. В этом отношении можно наметить следующие варианты:

1. Блуминг обслуживает в основном непрерывный заготовочный стан. После обрезки концов слиток целиком или порезанный на две части направляется для прокатки в непрерывный стан.

2. Блуминг обслуживает в основном рельсобалочный стан. В этом случае слиток после обрезки концов целиком идет в отделочный стан или режется на 2—4 блума, которые поступают в подогревательные печи.

3. Сравнительно редко слябы после ножниц прямо направляются в подогревательные печи листовых станов.

4. Во всех остальных случаях порезанные на ножницах бумы и слябы направляют на склад, где они остывают, а затем подвергаются осмотру и зачистке.

В первых трех случаях бумы или слябы передаются к станам или печам по отводящему рольгангу, находящемуся за ножницами. В последнем случае бумы и слябы с отводящего рольганга убираются описанными ниже специальными устройствами.

Бумы и слябы с отводящего рольганга передаются сталкивателями (рис. 75). При движении вперед он сталкивает блум или сляб на транспортер, а при обратном движении проходит над рольгангом на такой высоте, которая позволяет пропускать под ним следующие бумы и слябы.

Для дальнейшей передачи блумов и слябов, чаще всего в другой пролет, применяются транспортеры разных типов. Приведем описание транспортеров двух типов, которые встречаются наиболее часто.

Первый из них, так называемый клинкен-шлеппер, состоит из ряда продольных брусков (рис. 76), между которыми проходят подвижные рейки с пальцами. Рейки могут двигаться вперед и назад на определенную длину. При движении вперед пальцы передвигают бумы или слябы на величину шага, при обратном движении пальцы могут проходить под бумами или слябами. У конца клинкен-шлеппера, выходящего обычно в соседний пролет, собирается несколько блумов или слябов, которые краном переносятся на склад.

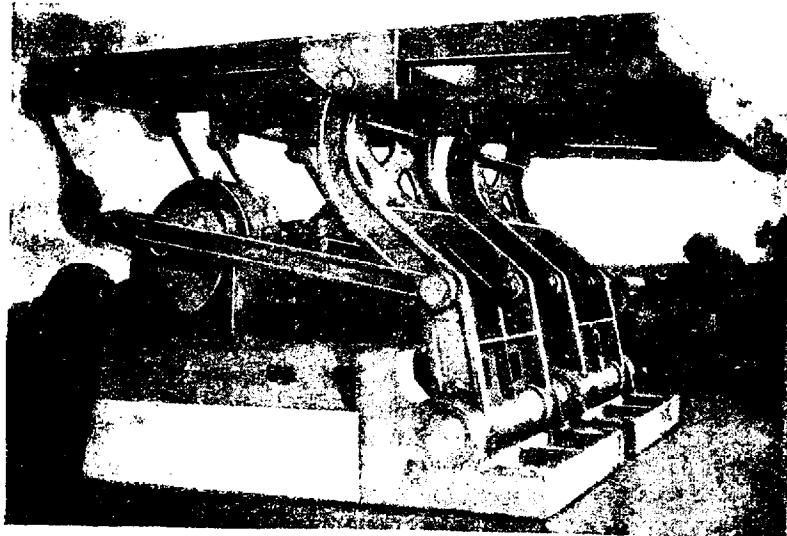


Рис. 75. Сталкиватель

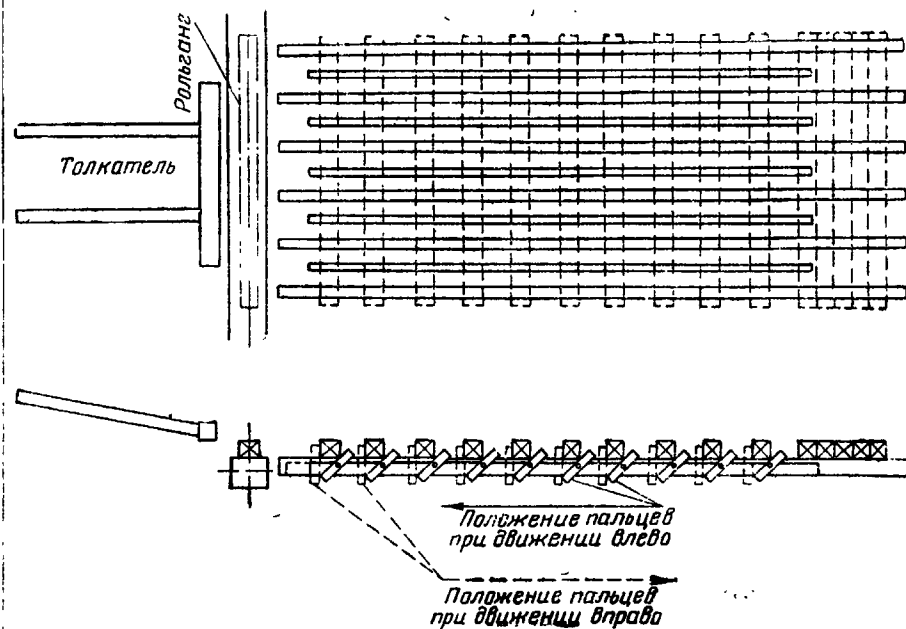


Рис. 76. Клинкен-шлеппер



Рис. 77. Цепной транспортер

Транспортер второго типа — цепного — также состоит из ряда брусков (рис. 77), между которыми движутся бесконечные цепи с пальцами, передвигающими блюмы или слябы. Ширина транспортера 6 м, длина около 30 м.

Транспортер передает блюмы и слябы с одного рольганга на другой, с которого они стаскиваются на короткие стеллажи. Эти последние имеют специальные пакетирующие устройства для слябов в виде подъемных столов (рис. 78). Пачки слябов краном убираются на склад.

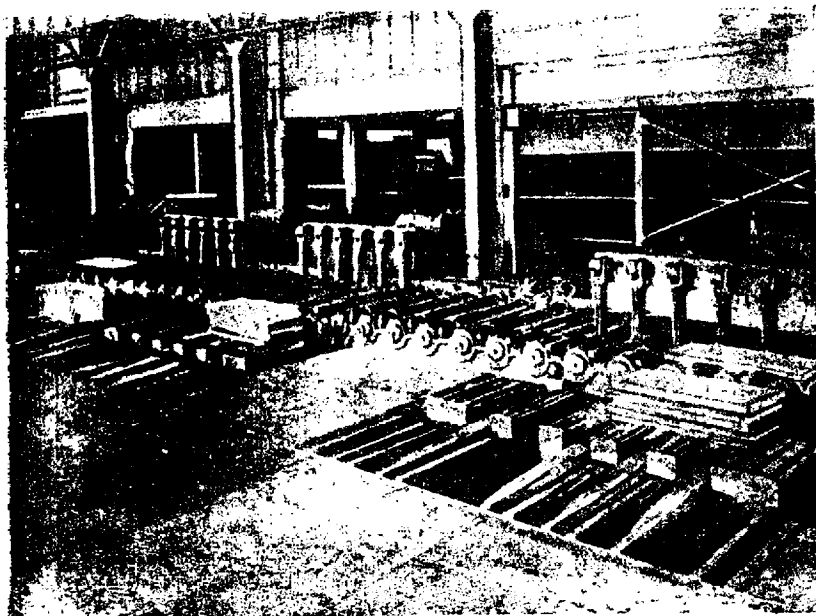


Рис. 78. Штабелирующее устройство для слябов

**Уборка концов.** Уборка концов от ножиц производится конвейером. Такое устройство показано на рис. 79. Рольганг, расположенный за ножицами, может опускаться и при этом располагаться наклонно. Отрезанный конец движется сначала по рольгангу, затем по желобу и попадает на непрерывно движущийся конвейер, который состоит из двух звездочек с бесконечными цепями, несущими пластины для передвижения концов. С конвейера они попадают прямо в вагон или сначала в яму, из которой затем краном перегружаются в вагоны.

**Уборка окалины.** Во время нагрева в колodцах и при прокатке на стане поверхность слитков окисляется, покрываясь слоем окалины, которая раздробляется при обжатии слитка

в валках. Окалина падает и скопывается не только под валками, но частично и под рольгангами. Чтобы иметь представление о количестве образующейся окалины, достаточно указать, что современный блюминг обжимает за одну смену до 2000—2500 т слитков. При угаре в 3% от этого количества вес чистого железа в окалине составит 60—75 т, а вес этой последней при пересчете на  $\text{FeO}$ <sup>1</sup>:

$$(60 + 75) \times \frac{72}{56} = 77 + 96 \text{ т.}$$

Некоторая часть окалины остается в колodцах, но большая часть удаляется со слитка во время его прокатки. Применяются

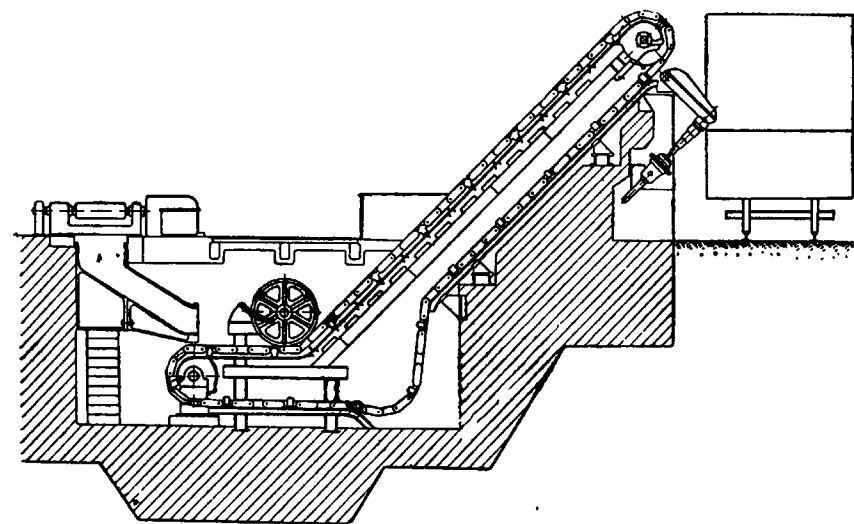


Рис. 79. Конвейер для уборки концов от ножиц

два основных метода уборки окалины — сухой и мокрый. При уборке по первому методу окалина падает в коробки, установленные под рабочей клетью и под рольгангами с обеих сторон стана (рис. 80). Коробки на колесах выдвигаются по рельсам в туннелях в боковой пролет, где они вынимаются из люков и перегружаются в железнодорожные вагоны.

При мокром способе окалина смывается водой по каналам, имеющим уклон около 1 : 20, в яму (рис. 81), из которой удаляется грейфером и грузится в вагоны.

<sup>1</sup> В составе окалины, помимо  $\text{FeO}$ , имеются также в некоторых количествах  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , но для упрощения расчета условно принято, что окалина состоит из  $\text{FeO}$ .

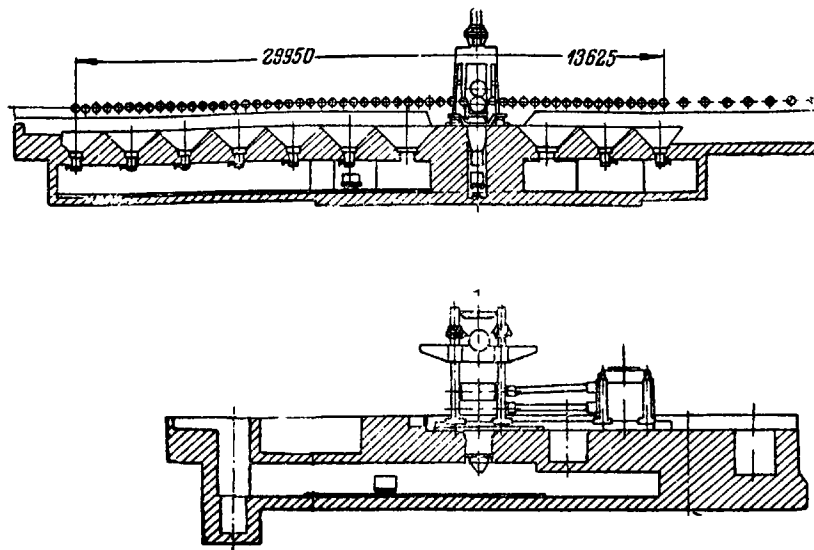


Рис. 80. Уборка окалины коробками

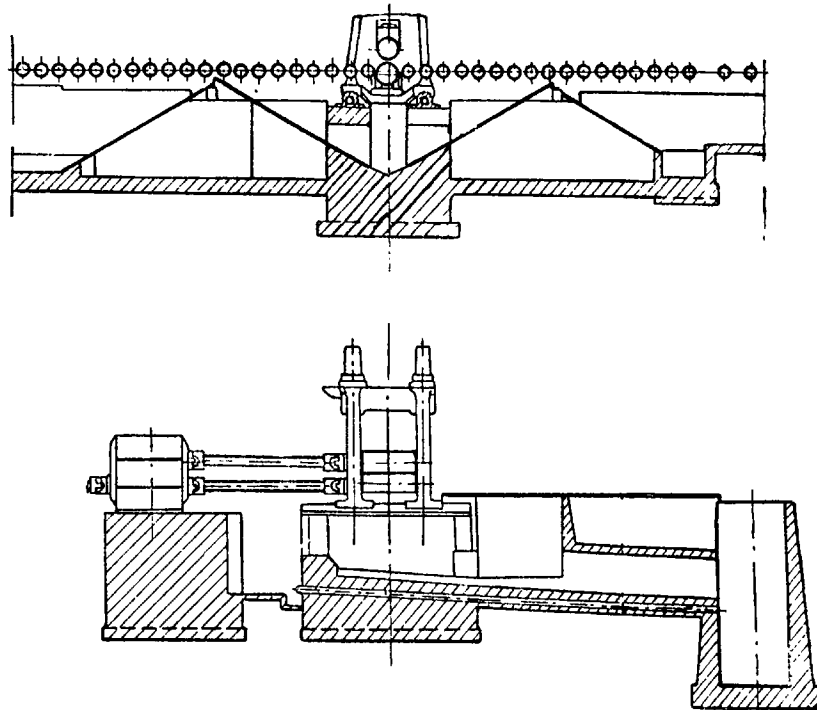


Рис. 81. Уборка окалины водой

### 3. Общая схема технологического процесса на блюминге

Основная задача прокатки на блюминге заключается в превращении слитка больших размеров и веса в блюмы, слябы и заготовки меньших размеров, предназначенные для производства готовых изделий. В соответствии с такой задачей слитки, поступающие из сталеплавильного цеха, нагреваются в колодцах до соответствующей температуры, затем тележкой подаются на подводящий рольганг и дальше по системе других рольгангов — к валкам блюминга, где и обжимаются до соответствующих размеров. Прокатанная полоса отводится к ножницам, на которых отрезаются передний и задний концы и, если нужно, производится резка на мерные длины. Последняя операция необходима в тех случаях, когда блюмы и слябы отправляются на сторону как готовый продукт или, если они должны быть обязательно охлаждены и подвергнуты зачистке для удаления дефектов или, наконец, при прокатке готового продукта со вторичным подогревом, как, например, на некоторых рельсобалочных станах. В тех же случаях, когда это не требуется, полоса после ножниц сразу отправляется в отделочный стан для прокатки.

Отрезанные концы падают на транспортер, передающий их в коробку, из которой они краном перегружаются в вагон.

### 4. Течение материала при прокатке на блюминге

Процесс деформирования металла на блюминге имеет следующие особенности:

- 1) происходит обжатие металла с литой структурой с постепенным уплотнением;
- 2) происходит формоизменение массы большого объема при малых обжатиях;
- 3) деформация протекает в узком диапазоне высоких температур.

Первая особенность влияет на величину обжатия, которая для начальной стадии прокатки выбирается с таким расчетом, чтобы не произошло нарушения сплошности металла в какой-либо части слитка.

Вторая особенность в наибольшей степени характеризует процесс прокатки на блюминге, отличая его от того, который имеет место на многих других станах, например, на сортовых и листовых, прокатывающих готовый продукт из заготовок, блюмов и слябов, и даже на обжимных станах трио, которые прокатывают слитки сравнительно небольших размеров. Это отличие заключается в том, что на блюминге прокатываются слитки большой толщины. Поэтому отношение максимальной величины обжатия к толщине слитка здесь получается меньше, чем на других станах. Ниже будет показано, что обжатие в большинстве случаев равно 7—25% и редко переходит за верхний предел, в то время как на других станах оно достигает 30—45%.

При относительно небольших обжатиях слитка по высоте течение металла имеет своеобразный характер, отличный от того, который свойственен большинству других станков.

Деформация имеет неравномерный характер по высоте слитка: в верхних частях деформация больше, чем в средних, и верхние слои удлиняются сильнее, средние слабее или остаются сами по себе без движения. Но вследствие материальной связи и влияния внешних частей полосы средние слои металла увлекаются верхними,

а эти последние тормозятся средними слоями. По этой причине в металле возникают сильные растягивающие напряжения в середине поперечного сечения, между тем как у контактных поверхностей наблюдаются сжимающие напряжения. Эта же неравномерность течения металла влияет и на увеличение

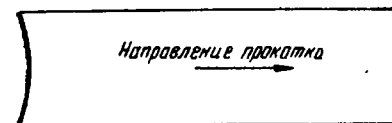


Рис. 82. Форма концов слитка после первого пропуска

уширения у контактных поверхностей, так как в этих местах удлинение уменьшается под влиянием средних частиц.

Неравномерное течение металла в различных частях слитка подтверждается видом концов полос, выходящих из валков блюминга после прокатки. После первого пропуска передний конец получается ровным, задний вогнутым (рис. 82), после второго пропуска оба конца становятся вогнутыми, что указывает на большее удлинение частей слитка, ближайших к контактным поверхностям. В дальнейшей стадии прокатки, хотя и происходит

выравнивание удлинения по сечению слитка или даже опережение средней части, все же в итоге верхние и нижние части получают более удлиненными (рис. 83) по сравнению со средними (на 2—3,5%). Большему удлинению у контактных поверхностей слитка способствует неравномерный прогрев его, когда средняя часть как более холодная получается менее пластичной по сравнению с крайними.

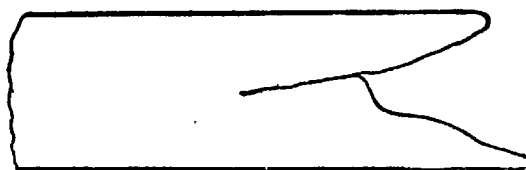


Рис. 83. Вид концов слитков после прокатки на блюминге

Интересный случай представляет опыт прокатки заготовки для балки № 45 на блюминге Кузнецкого завода<sup>1</sup>. Чтобы избежать изготовления для блюминга новых валков со специальным фасонным калибром, здесь решили попробовать получить фасонную заготовку путем осаживания на ребро слитка промежуточного се-

<sup>1</sup> Инж. И. И. Кучко. Калибровка и освоение проката двутавровых балок № 45с и 55а на Кузнецком металлургическом заводе. Сборник научно-технических статей КМЗ, 1938, август, № 1.

чения  $580 \times 210$  мм до высоты 380 мм. Величина обжатия за каждый пропуск равнялась 15—20 мм, т. е. составляла примерно 4% по высоте. При таком методе прокатки было достигнуто уширение около 50% у контактных поверхностей, в средней же части уширение равнялось нулю (рис. 84). Этот пример хорошо подтверждает изложенное выше о распределении деформации по высоте слитка.

Выводы о течении металла при прокатке на блюминге сводятся к следующим основным положениям:

1. Деформации обжатия и уширения неравномерны: у контактных поверхностей величина их больше, чем в средних частях слитка.

2. Степень неравномерности деформации зависит от отношения величины обжатия к высоте слитка до прокатки: чем меньше это отношение, тем выше неравномерность деформации.

3. Неравномерность деформации связана с наличием вредных растягивающих усилий, величина которых возрастает с увеличением неравномерности деформации.

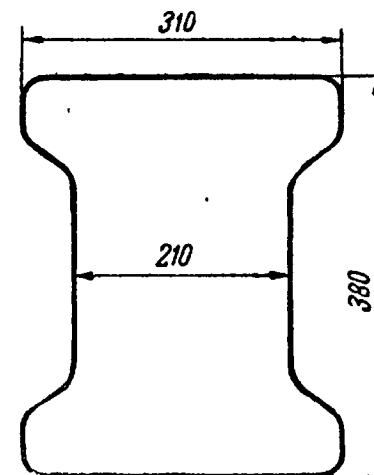


Рис. 84. Сечение бруса для прокатки балки № 45

## 5. Выбор величины обжатия на блюминге

Величина обжатия на блюминге должна выбираться в зависимости от следующих факторов: 1) качества металла, 2) мощности двигателя и 3) прочности деталей стана и в первую очередь валков, подвергающихся наибольшему воздействию сил прокатки при соприкосновении с металлом, имеющим высокую температуру. Разберем эти факторы.

Выбор величины обжатия в зависимости от качества металла. Определенных расчетных данных для выбора величины обжатия в зависимости от качества металла нет. Поэтому тот или иной критерий для выбора этой величины может иметь пока только качественную оценку, количественные же соотношения определяются исключительно на основании опытных данных.

Выбор величины обжатия на блюминге в основном определяется свойством структуры, разной для отдельных марок стали. Эти свойства структуры, зависящие от химического состава и величины зерна, влияют на способность металла к горячему деформированию. Границы этой способности пока еще точно не установлены. Закс предположительно определяет способность к де-

формированию углом захвата<sup>1</sup>. Однако такое положение едва ли приемлемо, так как во многих случаях при допустимых углах захвата можно получить величины обжатий, превышающие те, которые могут быть приняты при данном качестве металла. Угол захвата связывается функционально с абсолютной величиной обжатия, которая вообще не определяет возможности выбора ее для тех или иных случаев деформирования; правильнее принимать не абсолютную, а относительную величину обжатия. Для слитков раз-

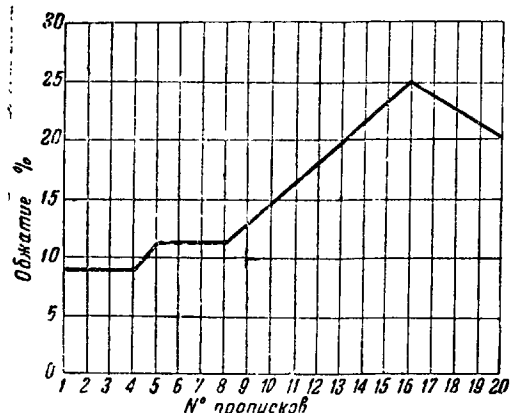


Рис. 85. Схема изменения относительного обжатия в процессе прокатки на блюминге

ных устанавливать величину относительного обжатия. На каждом заводе выбранные величины обжатий должны быть проверены и окончательно установлены в соответствии с местными условиями.

Для разных пропусков в течение всего цикла прокатки слитка относительное обжатие меняется следующим образом. В начальных пропусках (первых 4—6), когда литая структура еще недостаточно раздроблена, обжатия производятся осторожно. После раздробления обжатия повышаются и определяются другими факторами. К концу прокатки слитка обжатия несколько снижаются. Это изменение относительного обжатия в процессе прокатки слитка схематически изображено в виде графика на рис. 85.

Необходимость в таком осторожном подходе к выбору величины обжатий в основном обусловливается образованием трещин при прокатке слитков с обжатиями, превышающими допустимые. Трещины в большинстве случаев образуются в первых пропусках, когда металл еще недостаточно уплотнен и зерна имеют крупные размеры. Чем крупнее зерно, тем менее пластичен металл, тем больше его склонность к образованию трещин и тем более ос-

торожно необходимо вести прокатку. Из этого следует, что слитки крепкой стали, как обладающие более крупным зерном, надо обжимать менее интенсивно, чем слитки мягкой стали. Трещины в большинстве случаев образуются на боковых поверхностях слитков, не обжимаемых в данном пропуске. Две поверхности слитка, соприкасающиеся с валками, подвергаются давлению со стороны валков, вследствие чего происходит раздробление крупных кристаллов. Две другие поверхности слитка не обжимаются и, как было указано выше, удлиняются, увлекаемые обжимаемыми частями слитка. Следовательно, здесь крупные нераздробленные кристаллы при больших обжатиях сильно вытягиваются, вследствие чего может произойти их разрыв.

Итак, в вопросе выбора величины обжатия в зависимости от качества металла приходится на основе опытных дан-

ных устанавливать величину относительного обжатия. На каждом заводе выбранные величины обжатий должны быть проверены и окончательно установлены в соответствии с местными условиями.

Величина деформации металла является существенной не только для данного пропусков, но и для ряда их, в которых слиток обжимается в одном направлении. Известно, что металл обладает ограниченной способностью сопротивления деформированию в одном направлении. Поэтому суммарная величина обжатия слитка в одном направлении совсем безразлична, напротив, она имеет большое значение, так как превышение ее вызывает образование трещин. В силу этого существенным фактором является чередование обжимаемых сторон и последовательность кантовок. При прокатке с большими обжатиями в первых пропусках слиток должен кантоваться после каждого пропусков. Так и делается на многоклетевых нереверсивных блюмингах. В обжимных станах трио слитки кантуются после каждого двух пропусков, что также благоприятно влияет на качество металла. В реверсивных блюмингах кантовки часто следуют после четырех и даже шести пропусков, причем обжатия нередко достигают значительной величины при каждом пропуске. Такой порядок работы может отрицательно отразиться на качестве металла, особенно в первых пропусках.

Трещины обычно образуются в металле плохого качества, например, в случае неудовлетворительного химического состава, наличия неметаллических включений, плохой поверхности изложниц, неудовлетворительной разливки и пр. В прокатном цехе большое влияние на образование трещин оказывает нагрев металла. При нагреве слитка до более низкой температуры, чем требуется условиями прокатки, неизбежно возрастают растягивающие усилия, вследствие понижения пластичности металла. При неравномерном нагреве или плохом прогреве отдельные части слитка различно удлиняются. При перегреве слитка образуется толстый слой окалины и обнажаются газовые пузыри, расположенные близко к наружной поверхности слитка. Во всех этих случаях при прокатке могут образоваться трещины. В практике совершенно здоровых слитков вообще значительно меньше, чем слитков с различными дефектами; это необходимо учитывать при разработке калибровки и схем обжатий. Целиком ориентироваться на плохие слитки было бы неправильно, но и основывать работу на слитках только хорошего качества было бы неосмотрительно.

<sup>1</sup> Докт. инж. Г. З а к с, Практическое металловедение, ч. 2, перевод, ОНТИ НКТП, 1938, стр. 150.



На величину обжатия большое влияние оказывает скорость деформации. Оба эти показателя находятся между собой в таком соотношении, что при увеличении одного из них другой должен уменьшаться. Для первых пропусков это правило обязательно, иначе неизбежны перенапряжения в металле и образование тре-

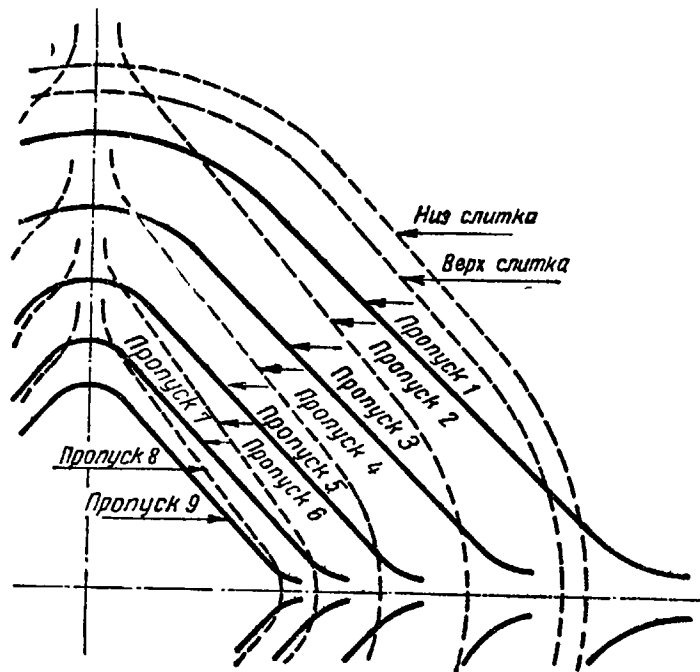


Рис. 86. Калибровка валков многоклетьевого блюминга

щин. Влияние скорости деформации на величину обжатия можно хорошо иллюстрировать примерами прокатки слитков на неревверсивных блюмингах. Например, на одном заводе обжимная часть заготовочного стана состоит из 9 клетей дуо (рис. 86), в каждой из которых слиток пропускается один раз в ромбических калибрах. Число оборотов валков в минуту равно: в клетях 1 и 2—7,1; в клетях 3 и 4—11,3 в клетях 5—8—40,2, в клетях 9—50,7. Таким образом, в первых четырех клетях, в которых слиток обжимается примерно до 40% первоначального сечения, скорости прокатки и соответствующие им скорости деформации сравнительно незначи-

1-й пропуск	0,138	сек <sup>-1</sup>
2-й	0,327	;
3-й	0,835	;
4-й	0,680	;

Начиная с пятого пропуска, скорость деформации резко возрастает и находится в пределах 2,46 (5-я клеть) — 3,15 (9-я клеть) сек.<sup>-1</sup>.

На неревверсивных блюмингах условия деформирования слитков наиболее благоприятны при прокатке их в ромбических калибрах с небольшими скоростями деформации. Здесь обжимаются сразу все четыре стороны слитка, причем обжатие достигает 26% в первых пропусках. Вследствие этого растягивающие усилия здесь минимальны по сравнению с растягивающими усилиями на других станах.

На основании изложенного и в соответствии с данными практики можно выбирать обжатия, руководствуясь следующими основными положениями:

1. Весь процесс прокатки слитка разделяется на три периода. В первом периоде происходит раздробление кристаллов первичной структуры металла и уплотнение слитка, причем сечение его уменьшается до 40—50% от первоначального. В этом периоде величина обжатия берется в пределах 10—12% для мягкой стали и 7—10% для крепкой.

2. Во втором периоде производится наиболее интенсивная обработка слитка. Здесь обжатие достигает 25% для мягкой и до 20% для крепкой стали. Сечение слитка в этом периоде уменьшается на 80—85% от первоначального.

3. В третьем периоде происходит остальная часть деформации слитка. Абсолютная величина обжатия здесь ниже той, которая имеет место во втором периоде, но вследствие значительного уменьшения размеров слитка относительная величина обжатия мало отличается, а иногда даже равна той, которая наблюдается во втором периоде.

4. Скорость деформации в первом периоде также должна быть меньше, чем во втором и третьем, причем для крепких марок стали она берется меньше, чем для мягких. Практически в первом периоде обжатия слитка скорость деформации не должна превышать 1,0 сек.<sup>-1</sup>.

5. При прокатке слитков мягкой стали первые две кантовки могут следовать после 2 и 4-го пропусков. Следующие две или три кантовки обычно производятся через четыре пропуска, а затем снова через два. При прокатке слитков крепкой стали кантовки должны следовать после каждых двух пропусков. С точки зрения качества металла слиток должен кантоваться после каждого пропуска, как это и делается в неревверсивных блюмингах. В реверсивных блюмингах это привело бы к значительному увеличению длительности пауз. Поэтому в них слиток кантуется не чаще, чем после каждых двух пропусков. Такую систему кантовки необходимо применять при прокатке слитков крепкой стали.

6. При выборе обжатия и числа пропусков в качестве основных надо принимать следующие показатели: а) относительное обжатие ( $K$ ) за пропуск и за сумму пропусков между двумя кан-

товками, причем надо иметь в виду, что речь здесь идет об относительном обжатии по толщине слитка или линейному обжатию, как более характеризующем процесс деформации на блуминге; б) среднюю вытяжку за пропуск  $\mu_{\text{ср}}$ . Эти два показателя определяются из формул:

$$K = \frac{H-h}{H} \cdot 100\%, \quad (28)$$

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_n}}, \quad (29)$$

где:  $H$  — высота слитка до пропуска;  
 $h$  — » » после пропуска;  
 $F_0$  — начальное сечение слитка;  
 $F_n$  — конечное » »

По первой формуле определяют абсолютное обжатие за пропуск

$$(H-h) = H \cdot \frac{K}{100}. \quad (30)$$

Как было указано выше, величина  $K$  принимается в пределах 7—25 %.

Вторая формула служит для определения числа пропусков:

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \mu_{\text{ср}}}. \quad (31)$$

При этом для нормальных случаев  $\mu_{\text{ср}}$  практически можно принять равным для мягких сталей: 1,12—1,16, для крепких сталей: 1,10—1,14.

Выбор величины обжатия в зависимости от мощности двигателя. Как уже говорилось выше, в большинстве случаев прокатки слитков на блуминге при первых пропусках величина обжатия и скорость деформации определяются качеством металла. После достаточного уплотнения слитка обжатие и скорость деформации увеличиваются, и, начиная с этого момента, величины их зависят от мощности двигателя.

Зависимость величины обжатия от мощности двигателя имеет весьма важное значение, так как, с одной стороны, необходимо полностью использовать эту мощность, с другой — обжатия надо выбирать с таким расчетом, чтобы не перегрузить оборудования стана и не вызвать аварии.

При каждом пропуске потребный момент двигателя реверсивного стана можно определить из следующего равенства:

$$M_{\text{д}} = M_{\text{п}} + M_{\text{у}} + M_{\text{х}}, \quad (32)$$

где:  $M_{\text{д}}$  — момент двигателя;  
 $M_{\text{п}}$  — » прокатки;  
 $M_{\text{у}}$  — » ускорения;  
 $M_{\text{х}}$  — » холостого хода.

Момент прокатки, или, точнее, момент, соответствующий чистой работе прокатки, можно вычислить по формуле:

$$M_{\text{п}} = 1,05 (M_{\text{д}} + M_{\text{т}}), \quad (33)$$

где:  $M_{\text{д}}$  — момент, потребный для деформации металла,  
 $M_{\text{т}}$  — » трения в шейках валков; коэффициент 1,05 вводится для учета трения в зубцах шестерен.

Момент, потребный для деформации металла, равен произведению давления металла на валки на горизонтальную проекцию дуги соприкосновения металла с валками:

$$M_{\text{д}} = P \sqrt{R(H-h)}. \quad (34)$$

Здесь:  $P$  — давление металла на валки;  
 $R$  — рабочий радиус валков;  
 $(H-h)$  — обжатие.

Момент силы трения на шейках валков определяется из равенства:

$$M_{\text{т}} = P \cdot d \cdot f, \quad (35)$$

где  $d$  — диаметр шейки валка;  
 $f$  — коэффициент трения.

Делая подстановку в формулу (33), получаем:

$$M_{\text{п}} = 1,05 P [\sqrt{R(H-h)} + fd]. \quad (36)$$

Коэффициент трения на шейках валков примем для текстолитовых вкладышей. Если основываться на данных, например, Грефа<sup>1</sup>, то при прокатке на блуминге с числом оборотов валков в большинстве случаев от 25 до 75 в минуту коэффициент трения при текстолитовых вкладышах может быть взят в пределах 0,02—0,04. Однако, учитывая тяжелые условия работы валковых вкладышей блуминга (высокие удельные давления, попадание окалины), коэффициент трения следует взять более высокий. Так по данным исследований, производившихся на Кузнецком заводе, коэффициент трения для текстолитовых подшипников прокатных валков находится в пределах 0,05—0,15<sup>2</sup>. В соответствии с этим примем  $f = 0,075$ ; для выбора величины обжатия это будет вполне правильно.

Отношение диаметра шейки к номинальному диаметру валка для блуминга равно ~ 0,60. Но так как в формулу (36) входит значение рабочего диаметра валка, то это отношение для врезных калибров увеличится. Заменяем выражение  $fd$  через  $kR$ ,

где  $k = 2fm$ ,

<sup>1</sup> А. И. Целиков, Расчет и конструирование прокатных машин—орудий, ОНТИ, фиг. 82, стр. 64.

<sup>2</sup> В. Г. Соколов, Текстолитовые подшипники на КМЗ. Сборник научно-технических статей КМЗ, 1938, август № 1, стр. 91.

причем

$$m = \frac{d}{D}.$$

Давление металла на валки определяем по формуле:

$$P = pb \sqrt{R(H-h)}.$$

В этой формуле  $p$  означает удельное сопротивление деформации, которое определяется по какому-либо из общепринятых методов. Величина  $b$  представляет ширину слитка.

Подставляем значение  $P$  и  $fd$  в формулу (36):

$$M_n = 1,05 pb \sqrt{R(H-h)} [\sqrt{R(H-h)} + kR]. \quad (37)$$

Пользуясь этой формулой, можно вычислить момент прокатки по данным  $p$ ,  $b$ ,  $R$  и  $(H-h)$ .

Теперь перейдем к определению величины обжатия  $(H-h)$  в зависимости от  $p$ ,  $b$ ,  $R$  и  $M_n$ . Примем обозначения:

$$1,05 pb = A; \quad \sqrt{R(H-h)} = x.$$

Подставляя эти обозначения в формулу (37), получим квадратное уравнение:

$$M_n = Ax^2 + AkRx,$$

или:

$$x^2 + kRx - \frac{M_n}{A} = 0.$$

Решая это уравнение, получаем:

$$x = -\frac{kR}{2} \pm \sqrt{\frac{(kR)^2}{4} + \frac{M_n}{A}},$$

или:

$$(H-h) = \left[ \frac{(kR)^2}{4} - kR \sqrt{\frac{(kR)^2}{4} + \frac{M_n}{A}} + \frac{M_n}{A} + \frac{(kR)^2}{4} + \frac{M_n}{A} \right] : R.$$

Всеми членами  $\frac{(kR)^2}{4}$  можно пренебречь, так как относительная величина их ничтожна. Действительно, если взять  $m$  равным 0,75, как это чаще всего имеет место на блюмингах, то  $k \approx 0,110$ . Если  $R$  равен, например 500 мм, то  $\frac{(kR)^2}{4}$  равно 755, а при делении этой величины на  $R$  получим всего  $\sim 1,50$ .

Два члена  $\frac{(kR)^2}{4}$ , стоящие внутри скобок, дадут в сумме всего 3,0. С тем большим основанием можно не принимать во внимание член  $\frac{(kR)^2}{4}$ , стоящий под корнем.

Итак, окончательно имеем:

$$(H-h) = \frac{1}{R} \left( \frac{M_n}{1,05 pb} - kR \sqrt{\frac{M_n}{1,05 pb}} \right). \quad (38)$$

Величина  $kR$  различна как для разных станов, так и для разных калибров одного и того же стана. Поэтому при точных вычислениях величины  $(H-h)$  надо брать значения  $k$  и  $R$ , соответствующие данным условиям работы стана. Однако для практических целей вполне возможно принять среднее значение  $kR$ , отвечающее любому данному условию, так как отклонение от более точного значения  $(H-h)$  будет невелико (2—5%). Если иметь в виду, например, блюминги с номинальным диаметром валков 1000—1100 мм, то рабочие диаметры в гладкой части и во врезных калибрах будут находиться в пределах 750—1000 мм, учитывая нормальный износ около 10%. Следовательно, среднее значение рабочего диаметра будет равно 900 мм, а член  $kR$  при  $k = 0,110$  получается равным 50. В соответствии с этим предыдущую формулу можно переписать так:

$$(H-h) = \frac{1}{R} \left( \frac{M_n}{1,05 pb} - 50 \sqrt{\frac{M_n}{1,05 pb}} \right). \quad (39)$$

Пользуясь этой формулой, можно определить предельную или допустимую величину обжатия для того или иного случая прокатки. Из формулы видно, что обжатие зависит прежде всего от величины произведения  $pb$ : чем оно больше, тем меньше должно быть обжатие при постоянном моменте мотора. В такой же зависимости находится обжатие и от диаметра валков; это положение общеизвестно.

Допустимый момент прокатки, соответствующий максимальной нагрузке двигателя, определяется из равенства (32):

$$M_n = M_d - (M_y + M_x).$$

При расчетах обычно применяют для  $M_d$  величину примерно на 20% ниже выключающего момента, учитывая необходимый резерв мощности двигателя для непредвиденных случаев, связанных с увеличением нагрузки двигателя (например, при некотором превышении фактической величины обжатия по сравнению с расчетной, при прокатке слитков с пониженной температурой и пр.).

Изложенный метод позволяет аналитически определить допустимую величину обжатия при данной мощности мотора. Для частных случаев целесообразнее пользоваться графическим методом. Наиболее распространенный мотор для привода имеет мощность 7000 л.с.; максимальный крутящий момент равен 300 тм, при числе оборотов до 50 в минуту; при большем числе оборотов момент пропорционально уменьшается. Максимально допустимый рабочий момент такого двигателя можно принять равным 250 тм ( $300 \times \times 0,83$ ).

Для ускорения движущихся частей стана и якоря мотора, по данным практики, необходим момент 1,9 тм на 1 об/мин сек. Для рассматриваемого мотора устанавливают величину ускорения 20 об/мин сек. и замедления 40 об/мин сек. Следовательно, имеем:

$$M_y = 1,9 \times 20 = 38 \text{ тм.}$$

Для холостого хода стана и мотора принимается момент:

$$M_x = 5 \text{ тм.}$$

В соответствии с этим получаем допустимый момент прокатки:

$$M_n = 250 - (38 + 5) = 207 \text{ тм.}$$

Такой момент мотор будет иметь при числе оборотов до 50 в мин. Для другого числа оборотов в минуту, например, 60, 75 и 90  $M_n$  будет иметь следующие значения:

$$n = 60 \quad M_n = 165 \text{ тм}$$

$$n = 75 \quad M_n = 124 \text{ „}$$

$$n = 90 \quad M_n = 96 \text{ „}$$

По данным значениям  $M_n$  построим кривые для определения обжатия ( $H-h$ ) в зависимости от величины  $pb$  при  $D=1000$  мм. Как видно из формулы (39), для валков всякого другого диаметра можно пользоваться этими же кривыми, внося соответствующий коэффициент пропорциональности между диаметрами.

Равным образом кривыми можно пользоваться и для других чисел оборотов, беря промежуточные значения ( $H-h$ ). В табл. 6

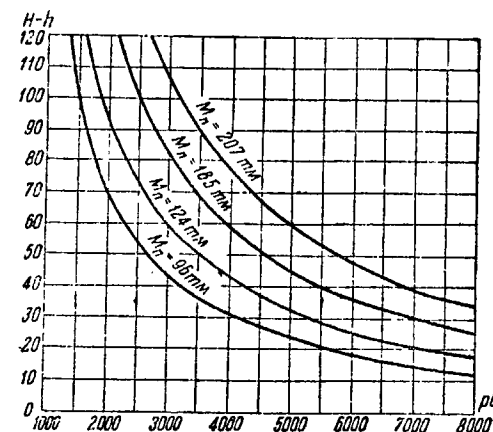
Таблица 6

$pb$ кг. мм	$(H-h)$ мм			
	$M_n = 207 \text{ тм}$ $n = 50$	$M_n = 165 \text{ тм}$ $n = 60$	$M_n = 124 \text{ тм}$ $n = 75$	$M_n = 96 \text{ тм}$ $n = 90$
1000	(350)	(274)	(200)	(150)
1500	(226)	(177)	(128)	(97)
2000	(166)	(129)	(94)	(70)
2500	(129)	100	73	54
3000	106	82	59	44
3500	89	69	49	36
4000	77	59	42	31
4500	67	51	36	27
5000	59	45	32	23
5500	53	40	28	20
6000	48	36	25	18
6500	43	33	22	16
7000	39	30	20	15
7500	36	27	18	14
8000	34	25	17	13

Примечание. Числа, поставленные в скобках, на практике не применяются.

приведены числовые значения для ( $H-h$ ), а на рис. 87 — кривые изменения обжатия ( $H-h$ ). Зная величину  $pb$ , можно прямо из графика определять допустимую величину обжатия для данного пропуска, принимая то или иное число оборотов валков

Аналогичные кривые можно построить и для других станов, имеющих привод от двигателей с другой характеристикой.

Рис. 87. Кривые изменения обжатия ( $H-h$ ) в зависимости от величины  $pb$ 

Выбор величины обжатия в зависимости от прочности валков. Напряжение в валках определяется основной формулой:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (40)$$

где:  $\sigma$  — напряжение материала валков, кг/см<sup>2</sup>;

$M$  — изгибающий момент, кг/см;

$W$  — момент сопротивления валка, см<sup>3</sup>.

Рабочий валок подвергается изгибу и кручению, но величиной последнего можно пренебречь ввиду ее незначительности, а также вследствие приближенности расчетов.

Изгибающий момент валка в месте действия силы давления  $P$ , находящемся на расстоянии  $x$  от середины шейки, равен:

$$M = P \cdot \frac{x(l-x)}{l}, \quad (41)$$

где  $l$  — расстояние между серединами шеек валков.

Подставляя в формулу (41) значение  $M$  из формулы (40), получаем после преобразований:

$$P = \sigma W \cdot \frac{l}{x(l-x)},$$

или

$$P = 0,1 D^3 \sigma \cdot \frac{l}{x(l-x)}, \quad (42)$$

так как момент сопротивления вала  $W$  равен  $0,1 D^3$ .

Значение  $P$ , определенное по формуле (42), представляет собой величину наибольшего допустимого давления металла на валки данного диаметра, в зависимости от места действия этого давления и в соответствии с допускаемым предельным напряжением, отвечающим выбранному материалу вала.

Елицину обжатия в зависимости от давления можно определить из формулы:

$$P = pb \sqrt{R(H-h)},$$

а именно:

$$(H-h) = \frac{1}{R} \left( \frac{P}{pb} \right)^2. \quad (43)$$

Все обозначения здесь известны. Пользуясь формулами (42) и (43), можно определить допустимую величину обжатия в зависимости от прочности валков.

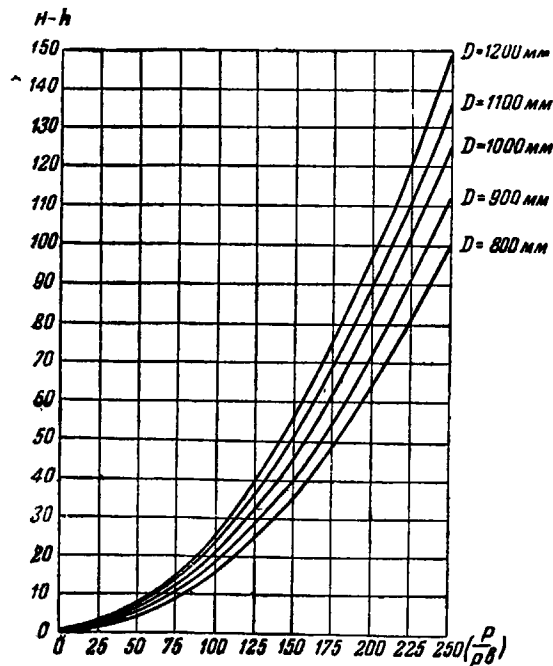


Рис. 88. Кривая изменения допустимой величины обжатия  $(H-h)$  в зависимости от диаметра валков

Если в формуле (43) за независимую переменную принять величину

$$\left( \frac{P}{pb} \right),$$

то обжатие будет изменяться по параболе (рис. 88). Кривые построены для  $D = 1200—800$  мм. Данные для построения взяты из табл. 7.

Таблица 7

$\frac{P}{pb}$	$\left( \frac{P}{pb} \right)^2$	$(H-h)$ , мм при $D=1000$ мм
50	2500	5
100	10000	20
150	22500	45
200	40000	80
250	62500	125
300	90000	180

## 6. Калибровка валков блюминга

Применяются две основные системы калибровки валков блюминга — с ограниченным и свободным уширением.

Для калибровки первого типа (рис. 89) характерна прскатка от первого пропуска до последнего в глубоко врезанных калибрах. Число таких калибров на бочке вала равняется 5—6, в зависимости от прокатываемых размеров слитков и блюмов. Кроме того, на одном конце валков располагается гладкая часть для прокатки

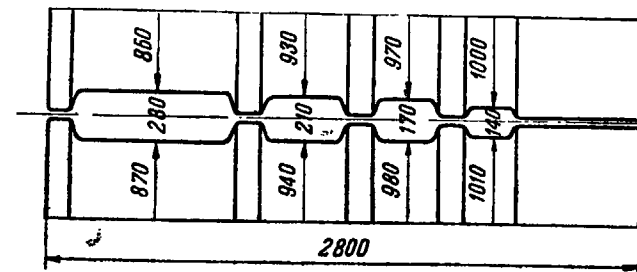


Рис. 89. Калибровка валков блюминга с ограниченным уширением

узких слябов. Глубина врезок для различных калибров одного и того же вала варьирует в широких пределах и, как видно на рис. 89, для первого из них достигает 280 мм. Такая большая глубина берется для того, чтобы бока слитков упирались в бурты и этим ограничивалось бы свободное уширение слитка. Хотя слиток может поддерживаться с боков буртами не во всех пропусках, все же такое мероприятие считается полезным даже для некоторых пропусков. Ограничение свободного уширения препятствует образованию трещин и способствует большей вытяжке металла.

Глубокие врезы калибров вызывают ослабление тела вала и, следовательно, понижают его прочность. Для компенсации этой потери в калибровке первого типа осуществляются следующие мероприятия:

1) номинальный диаметр валков берется больше, чем при калибровке второго типа; валок имеет более длинную бочку, так как число калибров больше и бурты шире; при такой калибровке номинальный диаметр валков типичного блюминга равен 1150 мм, длина бочки — 2800 мм;

2) первый врезной калибр и гладкая часть располагаются по краям бочки и, следовательно, ближе к шейкам; это делается для уменьшения изгибающего момента вала в калибре; с другой стороны, это влечет за собой и недостаток, выражающийся в сильном износе шеек из-за увеличения давления, а в той из них, которая лежит ближе к первому врезному калибру, еще и вследствие обильного осыпания окалины при первых пропусках;

3) валки изготавливаются из ковanej стали.

Схема калибровки второго типа следующая (рис. 90): средняя часть валка делается гладкой, по краям врезается несколько калибров: со стороны шестеренной клетки обычно один (большого размера), с противоположной — от одного до трех, чаще всего два. Прокатка слитка ведется сначала на гладкой бочке, где делают 6—10 пропусков, затем во врезных калибрах.

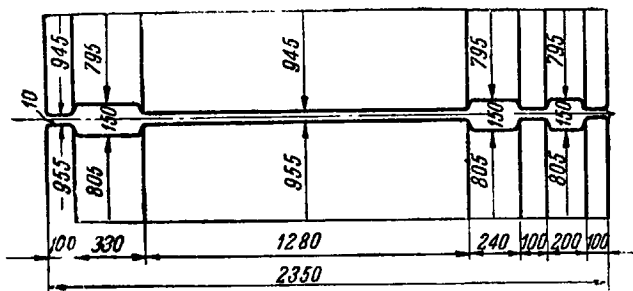


Рис. 90. Калибровка валков блюминга со свободным уширением (гладкая часть бочки — посередине валка)

Благодаря такому методу калибровки значительно уменьшается длина бочки, а вместе с ней и диаметр валков. Это дает следующие положительные результаты:

- 1) уменьшаются размеры и вес валков, и, следовательно, снижается расход их,
- 2) валки изготавливаются из литой стали,
- 3) шейки валков работают в более благоприятных условиях благодаря уменьшению нагрузки и вредного влияния окалины,
- 4) имеется возможность на одних и тех же валках прокатывать блюмы и широкие слябы.

К недостаткам такой калибровки относятся следующие:

- 1) при прокатке слитка в первых пропусках происходит свободное уширение, что может способствовать в большей степени образованию трещин;

- 2) вследствие того, что гладкая часть бочки расположена в середине ее, несколько удлиняются паузы при перемещении слитка от первого калибра ко второму.

На рис. 91 показана калибровка второго типа с расположением гладкой части бочки у края валков.

Эта часть бочки по существу является неглубоко (на 25—35 мм) врезанным широким калибром. Эта система калибровки является как бы промежуточной между двумя основными (рис. 89 и 90).

Следует еще отметить некоторые особенности калибровки валков второго типа.

- 1) глубина вреза калибров делается меньше, чем при калибровке первого типа, обычно в пределах 60—75 мм, причем ве-

личина ее мало изменяется для всех калибров одних и тех же валков, что дает возможность первые два ролика делать гладкими, а не ступенчатыми, как при калибровке первого типа;

- 2) уклон боковых стенок калибров больше, чем при европейской калибровке, благодаря чему свертывание слитка предупреждается лучше и опасность получения заусенцев меньше.

Составление схем обжатий. Точный расчет калибровки валков входит в задачу особого курса «Калибровка прокатных валков». При рассмотрении процесса прокатки на блюминге необходимо знать основные принципы расчета калибровки его валков для решения следующих вопросов:

- 1) при составлении схем обжатий для прокатки слитков тех или иных размеров в блюмы в валках заданных размеров приходится проверять возможность размещения калибров на данной длине бочки валков;

- 2) для расчетов мощности двигателя и прочности валков при разработанной схеме обжатий, так как необходимо знать рабочие диаметры валков и размещение калибров.

Расчеты ведут в таком порядке: сначала разрабатывают схему обжатий слитка, а затем на основании ее составляют эскиз калибровки валков.

При разработке схемы обжатий приходится решать следующие основные вопросы:

- 1) определение числа пропусков,
- 2) выбор максимальной и средней величин обжатий,
- 3) выбор размеров и веса слитков,
- 4) определение числа кантовок.

Все эти взаимно связанные вопросы рассмотрим в указанной последовательности.

Определение числа пропусков. Выше мы привели формулу (31) для определения числа пропусков:

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \mu_{\text{ср}}}$$

Там же были приведены и значения для  $\mu_{\text{ср}}$ . Беря то или иное значение  $\mu_{\text{ср}}$  и зная  $F_0$  и  $F_n$ , можно определить число пропусков  $n$ . Однако таких вычислений можно не делать, исходя из следующих соображений.

Практически число пропусков для большинства случаев прокатки находится в пределах 13—27. Эти числа пропусков нельзя

рассматривать как оптимальные, так как они несомненно относятся и к таким случаям, когда величина обжатия ограничивается мощностью стана. В табл. 8 приведены данные, относящиеся к блюмингам разных заводов.

Таблица 8

Завод	Форма и размеры слитка, мм	Размеры блюмов, мм×мм	Число пропусков	Полная вытяжка	Средняя вытяжка за пропуск
Слитки кипящей стали:					
А	Прямоугольный 760×680 . . . .	240×240	13	9,00	1,186
Б	„ 765×635 . . . . .	200×200	15	12,15	1,183
В	„ 765×635 . . . . .	250×250	27	7,30	1,077
Г	„ 610×508 . . . . .	200×200	15	6,70	1,135
Слитки спокойной стали:					
Д	Квадратный 695×695 . . . . .	290×215	21	7,67	1,102
Е	„ 680×680 . . . . .	300×300	17	5,14	1,111
Ж	„ 740×740 . . . . .	240×240	17	9,51	1,142
З	„ 620×620 . . . . .	200×200	15	9,61	1,164
И	Круглый, диам. 710 . . . . .	250×250	25	6,10	1,077
К	„ 660 . . . . .	150×150	25	13,10	1,109

Рассматривая эту таблицу, можно сделать вывод, что для отдельных случаев приведенные числа пропусков завышены. В практике наших заводов наибольшее число пропусков при прокатке блюмов не превышает 19. Наименьшее число пропусков по данным той же таблицы равно 13. Наибольшее число пропусков имеет место при прокатке слябов.

Выбор максимальной и средней величины обжатий. Максимальная и средняя величины обжатий колеблются в более широких пределах, чем число пропусков. Выше были указаны обычные пределы относительных обжатий, принимаемых на практике при прокатке блюмов. При прокатке слябов величина обжатия зависит от мощности двигателя.

Но кроме относительного, необходимо знать еще и абсолютное обжатие, наибольшая величина которого при прокатке на реверсивных блюмингах практически не превышает для мягкой стали 90 мм, для крепкой — 75 мм.

Выбор размеров и веса слитков. Размеры слитка и, следовательно, его вес можно определить, исходя из конечного сечения блюма и принятой средней вытяжки за пропуск при заданном числе пропусков по формуле:

$$F_0 = F_n \cdot \mu_{\text{ср}}^n \quad (44)$$

В этой формуле  $F_0$  соответствует большему сечению слитка. Поэтому следует оговорить, что формула (44) не может служить основанием для составления равенства:  $L_n = L_0 \cdot \mu_{\text{ср}}^n$ . Чтобы такое равенство было справедливо, необходимо за  $L_0$  принять не действительную, а условную величину, учитывающую разницу между большим и средним сечением слитка и неплотность его массы.

На практике размеры блюмов находятся в пределах 150×150—300×300 мм; величина площади сечения их находится в пределах 225—900 см<sup>2</sup>.

Общая минимальная вытяжка, по данным табл. 8, равна 5,14, а максимальная 13,10; в большинстве случаев она составляет от 6 до 10.

Приняв последние цифры, будем иметь данные для составления табл. 9 и 10. В первой из них даны средние вытяжки за пропуск в зависимости от общей вытяжки и общего числа пропусков, в соответствии с формулой (29):

Таблица 9

Общая степень вытяжки $n$ $\mu_{\text{ср}}$	Средняя вытяжка за пропуск ( $\mu_{\text{ср}}$ ) при общем числе пропусков ( $n$ )					
	23	21	19	17	15	13
10	1,105	1,116	1,129	1,145	1,166	1,194
9	1,100	1,110	1,123	1,138	1,158	1,184
8	1,095	1,104	1,116	1,130	1,149	1,173
7	1,088	1,097	1,108	1,121	1,139	1,161
6	1,081	1,089	1,099	1,111	1,127	1,148

В табл. 10 даны размеры слитков (большее сечение), из которых можно прокатывать блюмы разных сечений с указанными выше общими степенями вытяжки от 6 до 10. Табл. 10 составлена на основании формулы (44).

Таблица 10

Общая степень вытяжки	Размеры стороны квадратного слитка, мм, при величине квадратных блюмов, мм				
	300	250	200	180	150
10	950	790	630	570	475
9	900	750	600	540	450
8	850	710	560	510	425
7	795	660	530	480	400
6	735	610	490	440	370

Пользуясь табл. 9 и 10, можно быстро подобрать по заданному сечению блюма подходящие размеры слитка, число пропусков и среднюю вытяжку за пропуск. Необходимо только отметить, что

для прокатки блюмов в настоящее время применяются слитки с наибольшим сечением  $800 \times 800$  мм.

Приведем пример. Определить необходимые данные для блюма размером  $250 \times 250$  при прокатке его из мягкой и крепкой стали; общая вытяжка 8.

Мягкая сталь. Слиток будет иметь сечение внизу  $710 \times 710$  мм. Средняя вытяжка для мягкой стали находится в пределах 1,12—1,16. Можно принять 15 пропусков со средней вытяжкой 1,149.

Крепкая сталь. Бóльшее сечение слитка получается такое же, как для мягкой стали, но другие размеры отличаются, если слиток отливается с прибылью. Так как средняя вытяжка должна находиться в пределах 1,10—1,14, то можно принять 19 пропусков, в соответствии с чем  $\mu_{\text{ср}}$  получается равным 1,116.

Табл. 9 и 10 составлены для слитков и блюмов квадратного сечения. Однако ими можно пользоваться и в случае прямоугольной формы слитков и блюмов. Например, для прокатки блюма размером  $250 \times 250$  мм при 8-кратной вытяжке можно вместо квадратного слитка размером  $710 \times 710$  мм взять равновеликий прямоугольный слиток сечением  $775 \times 650$  мм.

Определение числа кантовок. Выше уже было сказано о числе кантовок и о порядке их следования:

1) при прокатке слитков крепкой стали кантовки надо производить после каждого двух пропусков,

2) при прокатке слитков мягкой стали желательно кантовать после 2 и 4-го пропусков, а затем после каждого четырех следующих пропусков; последняя кантовка производится после двух пропусков.

Исходя из этого, приведена табл. 11, дающая порядок и число кантовок при прокатке слитков мягкой стали с разными числами пропусков.

Табл. 11 показывает, что если исходить из обязательной кантовки слитков мягкой стали после 4-го пропуска, то наиболее приемлемыми будут схемы обжатий с 15 и 19 пропусками. Учитывая возможность более интенсивной деформации слитков мягкой стали, следует считать, что при прокатке применяемых в настоящее время слитков наибольших размеров в блюмы размером  $250 \times 250$  мм достаточно будет делать 15 пропусков.

Уширение. Выше уже говорилось о характере уширения, происходящего при прокатке на блюминге: оно имеет неодинаковую величину по высоте в одном пропуске и изменяется по ходу прокатки. Поэтому точно определить величину уширения невозможно, а в условиях прокатки на блюминге в этом нет и необходимости.

Если перейти к средней величине уширения, то оно изменяется по ходу прокатки следующим образом:

1) в первых двух пропусках уширение равно нулю, так как в них получается значительное уплотнение слитка;

2) в дальнейших пропусках оно составляет от 10 до 12% от обжатия, увеличиваясь постепенно до 20% к концу прокатки.

Теперь разберем более подробно пример составления схемы обжатия слитка. Рассмотрим случай прокатки слитка спокойной стали с утеплителем в блюмы сечением  $200 \times 200$  мм.

Принимаем 10-кратную общую вытяжку. В данном случае слиток будет иметь сверху сечение  $630 \times 630$  мм.

Таблица 11

Число пропусков					
13	15	17	17	19	19
Кантовки идут после пропусков					
2-го	2-го	2-го	2-го	2-го	2-го
6 ,	4 ,	6 ,	4 ,	6 ,	4 ,
10 ,	8 ,	10 ,	8 ,	10 ,	8 ,
12 ,	12 ,	14 ,	12 ,	14 ,	12 ,
—	14 ,	16 ,	14 ,	16 ,	16 ,
—	—	—	16 ,	18 ,	18 ,
Общее число кантовок					
4	5	5	6	6	6

Число пропусков можно принять равным 17, среднюю вытяжку за пропуск 1,145. Кантовку следует производить после каждого двух пропусков, поэтому одна сторона обжимается 9 раз, другая 8 раз. Если не учитывать уширения, то каждая сторона обжимается на 430 мм ( $630 - 200$  мм) и, следовательно, среднее линейное обжатие за пропуск равняется для каждой стороны соответственно:

$$430 : 9 \approx 48 \text{ мм}$$

$$430 : 8 \approx 54 \text{ мм.}$$

Для начальных пропусков обжатия будут несколько меньше, для последующих — больше средних.

Но прежде, чем распределять обжатия по пропускам, необходимо наметить основной контур валков, так как возможность размещения того или иного числа калибров будет влиять на величину обжатий в отдельных пропусках. Если принять калибровку валков со свободным уширением, то на бочке можно разместить, кроме гладкой части, 3 или 4 врезных калибра, в зависимости от того, какой наибольшей ширины потребуются слябы. Допустим, что по условиям производства необходимо катать широкие слябы и, следовательно, можно будет иметь только три врезных калибра,



расположенных по обе стороны гладкой части (1 + 2) — фиг. 90. Тогда общее число пропусков (17) распределится по калибрам следующим образом: гладкая часть — 10, 1-й врезной калибр — 4, 2-й врезной калибр — 2, 3-й врезной калибр — 1.

Теперь можно составить схему обжатий (табл. 12). В табл. 12 приведены также длины слитка, получающиеся после каждого

Таблица 12

№ пропуска	Сечение слитка после пропуска мм×мм	Обжатие		Уширение		Площадь попереч- ного сече- ния, см <sup>2</sup>	Кoeffици- ент вы- тяжки	Длина слитка пос- ле пропу- ска, м
		абсо- лютное мм	относи- тельное, %	абсо- лютное мм	в % абсо- лютного обжатия			
0	630×630					3969		2,1
1	575×630	55	8,7	0	—	3623	1,096	2,1
2	530×630	45	7,8	0	—	3339	1,082	2,1
	Кантовка							
3	535×575	55	8,7	5	9	3076	1,086	2,2
4	540×530	45	7,8	5	11	2862	1,075	2,3
	Кантовка							
5	490×535	50	9,3	5	10	2622	1,092	2,4
6	440×540	50	10,2	5	10	2396	1,094	2,5
	Кантовка							
7	445×485	55	10,2	5	9	2158	1,110	2,7
8	450×430	55	11,3	5	9	1935	1,115	3,0
	Кантовка							
9	380×440	70	15,5	10	14	1672	1,158	3,4
10	310×450	70	18,4	10	14	1395	1,200	4,1
	Кантовка							
11	320×380	70	15,5	10	14	1216	1,147	4,7
12	330×310	70	18,4	10	14	1023	1,189	5,6
	Кантовка							
13	275×317	55	16,7	7	13	872	1,173	6,6
14	220×325	55	20,0	8	15	715	1,219	8,0
	Кантовка							
15	230×255	70	21,6	10	14	587	1,218	9,7
16	240×190	65	25,5	10	16	456	1,287	12,5
	Кантовка							
17	200×200	40	16,7	10	25	400	1,140	14,3

пропуска, исходя из веса его в 4600 кг, полученного путем следующих вычислений:

- 1) нижнее сечение слитка принято равным 510 × 510 мм;
- 2) высота слитка до прибыли, при отношении ее к стороне среднего сечения (570 мм) не более 3, получается равной 1700 мм;
- 3) вес слитка без прибыли:

$$5,7 \times 5,7 \times 17 \times 7 = 3860 \text{ кг};$$

- 4) полный вес слитка, принимая, что вес прибыли равен 16% этого веса:

$$3860 : 0,84 = 4600 \text{ кг};$$

- 5) высота прибыли принята равной 400 мм;
- 6) угар слитка принят в 3%;
- 7) вес слитка за вычетом угара:

$$4600 \times 0,97 = 4462 \text{ кг};$$

- 8) объем металла слитка после прокатки:

$$4462 : 7,8 = 572 \text{ дм}^3.$$

Деля объем слитка на площадь его поперечного сечения после каждого пропуска, определим соответствующую длину слитка. Точные результаты можно получить, ведя расчет только таким способом. Если же подсчитывать длину слитка после пропуска, с учетом коэффициента вытяжки, т. е. по формуле:

$$L_n = L_{n-1} \cdot \mu_n,$$

то неизбежны ошибки, которые постепенно накапливаются из-за неточности. Как видно из табл. 12, после первых двух пропусков длина слитка не изменяется вследствие происходящего уплотнения металла.

Для построения эскиза валков необходимо выбрать диаметр и длину бочки. Диаметр валков выбирается в соответствии с размерами прокатываемых слитков. Практика выработала такое соотношение между номинальным диаметром валков блюминга ( $D$ ) и стороной ( $a$ ) прокатываемого слитка квадратного сечения:

$$a = (0,6 \div 0,7) D,$$

причем больший коэффициент относится к валкам большего диаметра. Это соотношение проще можно выразить следующим образом:

$$D = (a + 300) \text{ мм}.$$

Действительно, если возьмем наименьший слиток, прокатываемый на блюминге 500 мм, то ему будет соответствовать и наименьший диаметр валков — 800 мм; слитку с наибольшей стороной, квадрата 800 мм соответствует диаметр валков 1100 мм. В первом случае  $a = 0,62 D$ , во втором  $a = 0,72 D$ .

В приведенном равенстве значение диаметра валков следует считать наименьшим для данного слитка.

Для рассматриваемого нами случая диаметр валков

$$D = 630 + 300 = 930 \text{ мм}.$$

Примем его равным 950 мм. Длину бочки валков можно принять равной 2350 мм, т. е. примерно в 2,5 раза больше диаметра, как обычно и делается.

В соответствии с принятым распределением пропусков ширина врезных калибров должна быть равна:

Первого	330 мм	(пропуски 11—14)
Второго	240 "	( " 15—16)
Третьего	200 "	( " 17).

Ширину каждого бурта примем ориентировочно равной 100 мм. Таким образом, для трех врезных калибров и трех буртов длина бочки вала будет равна:

$$330 + 240 + 200 + (3 \times 100) = 1070 \text{ мм.}$$

Остается для гладкой части:

$$2350 - 1070 = 1280 \text{ мм.}$$

Диаметр валков в гладкой части примем равным 950 мм, во врезных калибрах — 800 мм.

На таких валках можно прокатывать слябы шириной до 1100 мм. Эскиз валков показан на рис. 90.

Следует оговориться, что действительная ширина калибров после окончательного их построения будет несколько больше, а буртов — несколько меньше. Но для проверки соответствия разработанной схемы обжатий мощности двигателя и прочности валков такой эскиз будет достаточно точным.

Теперь перейдем к проверке составленной схемы обжатий с точки зрения мощности двигателя и прочности валков. Как видно из формулы (37), необходимо знать следующие величины: 1) допустимый момент прокатки  $M_n$ , соответствующий рабочему моменту двигателя; 2) удельное сопротивление деформации  $p$ , 3) ширину слитка  $b$ , 4) рабочий радиус валков  $R$ .

Примем, что валки приводятся в движение мотором  $N = 7000$  л. с.,  $n = 0—50—120$ . Значение  $M_n$  для разных чисел оборотов таково:

$n$	$M_n$ , тм
50	207
60	165
75	124
90	96

Удельное сопротивление деформации можно определить по одному из известных методов. Наиболее подходящей для данного случая можно считать формулу Экелунда<sup>1</sup>:

$$p = (\sigma + K) m, \quad (45)$$

где  $\sigma$  — статическое сопротивление деформации, равное в зависимости от химического состава стали и температуры металла:

$$\sigma = (1,4 + C + Mn) (14 - 0,01 T),$$

<sup>1</sup> Я. С. Галлай, Материалы по теории прокатки, ч. IV, под ред. Иг. М. Павлова, Металлургиздат, 1948.

где  $C$  — содержание углерода в %;

$Mn$  — содержание марганца в %;

$K$  — добавочная величина сопротивления деформации, зависящая от скорости деформации;

$m$  — коэффициент, больший единицы, вводимый для учета внешнего трения при прокатке.

В условиях прокатки на блюминге величины  $K$  и  $m$  в формуле Экелунда для большинства пропусков получаются настолько незначительными, что почти не влияют на величину  $\sigma$ , и только в последних пропусках приобретают некоторое значение. Это зависит от того, что в формуле (45) величины  $K$  и  $m$  являются функциями суммы  $h_0 + h_1$  (высот слитка до и после пропуска), которая по сравнению с обжатием имеет значительную величину, уменьшаясь заметно только к концу прокатки, что и следует из формул:

$$K = \frac{2\eta v \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}}}{h_0 + h_1},$$

$$m = 1 + \frac{1,6\mu \sqrt{R(h_0 - h_1)} - 1,2(h_0 - h_1)}{h_0 + h_1}.$$

Однако это не значит, что скорость деформации при прокатке на блюминге не влияет на величину удельного сопротивления деформации. Напротив, выше уже было сказано о влиянии скорости деформации. Следует отметить, что для первых пропусков значение  $p$  в формуле (45) близко к  $\sigma$ . Для конца прокатки можно принять:

$$p = (1,10 \div 1,15) \sigma.$$

Вычисленные таким образом значения  $p$  почти совпадают с теми, которые получены другими авторами при исследованиях процесса горячего деформирования металла.

Чтобы определить  $\sigma$ , необходимо знать содержание углерода и марганца в стали, которые примем соответственно равными 0,6 и 0,8%, и температуру прокатки. Сталь такого состава нагревается до температуры около 1150°. Однако, учитывая возможность прокатки слитков такой стали и с более низкой температурой (например, при разных задержках), примем эту последнюю равной 1100°. За время прокатки на блюминге наибольшее падение температуры не превышает 50°. Следовательно, прокатка заканчивается при 1050°.

Теперь можно определить значение  $\sigma$ .

Начало прокатки:

$$\sigma_1 = (1,4 + 0,6 + 0,8) (14 - 0,01 \cdot 1100) = 8,4 \text{ кг/мм}^2;$$

конец прокатки:

$$\sigma_n = (1,4 + 0,6 + 0,8) (14 - 0,01 \cdot 1050) = 9,8 \text{ кг/мм}^2.$$

В соответствии с указанным выше, величина  $p$  может быть принята: для первого пропуска  $p = 8,4$  кг/мм<sup>2</sup>, для последнего  $p = 9,8 \times 1,15 = 11,3$  кг/мм<sup>2</sup>.

Для остальных пропусков удельное сопротивление деформации имеет промежуточное значение и постепенно возрастает по ходу прокатки.

Зная величины  $p$  и  $b$  и, следовательно, произведение  $pb$ , можно определить момент прокатки  $M_n$  по формуле (37) или, пользуясь графиком (рис. 87), — допустимую величину обжатия  $(H-h)$  при том или ином моменте мотора, соответствующем принятому числу оборотов. В первом случае момент прокатки  $M_n$  не должен превышать допустимой величины момента мотора при заданном числе оборотов; во втором — обжатия  $(H-h)$  по графику должны быть больше тех, которые приняты в схеме. В обоих случаях необходимо знать число оборотов мотора  $n_2$  в период постоянной скорости. Ниже<sup>1</sup> приводятся данные для определения значений  $n_2$ , при которых может начаться прокатка слитка той или иной минимальной длины:

отношению	$\frac{L}{D} = 1,68$	соответствуют	$n_2 = 25$
"	$\frac{L}{D} = 3,29$	"	$n_2 = 37,5$
"	$\frac{L}{D} = 5,42$	"	$n_2 = 50$
"	$\frac{L}{D} = 7,82$	"	$n_2 = 60$
"	$\frac{L}{D} = 11,74$	"	$n_2 = 75$
"	$\frac{L}{D} = 16,43$	"	$n_2 = 90$

У нас диаметр валков в гладкой части принят равным 950 мм, во врезных калибрах — 800 мм. Следовательно, минимальные длины слитков, при которых можно задавать новые числа оборотов, должны иметь значения, приведенные в табл. 13.

Таблица 13

$n_2$	$D$ мм	$L$ м
25	950	1,60
37,5	950	3,13
37,5	800	2,63
50	800	4,34
60	800	6,26
75	800	9,40
90	800	13,15

<sup>1</sup> См. стр. 137.

Теперь можем составить табл. 14 для определения потребного момента и допустимой величины обжатия.

Таблица 14

№ пропуска	Ширина слитка $b$ мм	Длина слитка после пропуска, м	Максимальное число оборотов валков в минуту, $n_2$	Удельное сопротивление деформации $p$ , кг/мм <sup>2</sup>	Произведение $pb$ кг/мм	Потребный момент прокатки $M_n$ , тм	Допустимое обжатие по графику $(H-h)$ , мм	Допустимый момент прокатки $M_n$ , тм	Фактическое обжатие $(H-h)$ , мм
1	630	2,1	25	8,4	5292	190	58	207	55
2	630	2,1	25	8,5	5355	169	58	207	45
3	535	2,2	25	8,6	4601	166	58	207	55
4	540	2,3	25	8,7	4692	141	58	207	45
5	535	2,4	25	8,8	4708	155	58	207	50
6	540	2,5	25	8,9	4806	159	58	207	50
7	445	2,7	25	9,0	4005	144	58	207	55
8	450	3,0	25	9,1	4095	147	58	207	55
9	440	3,4	37,5	9,2	4048	179	75	207	70
10	450	4,1	37,5	9,4	4230	187	75	207	70
11	320	4,7	50	9,6	3072	117	75	207	70
12	330	5,6	50	9,8	3234	124	75	207	70
13	317	6,6	60	10,0	3170	95	99	165	55
14	325	8,0	60	10,3	3348	103	99	165	55
15	230	9,7	75	10,6	2438	94	93	124	70
16	240	12,5	75	10,9	2616	93	93	124	65
17	200	14,3	90	11,3	2260	53	76	96	40

Сделаем некоторые пояснения к таблице:

1. Потребный момент прокатки  $M_n$  определяется по формуле (37):

$$M_n = 1,05 pb \sqrt{R(H-h)} \left[ \sqrt{R(H-h)} + KR \right],$$

в которой величина  $KR$  принята равной 50.

2. Допустимое обжатие  $(H-h)$  по графику определялось только для некоторых пропусков. Например, при  $M_n = 207$  тм обжатие определялось для первого пропуска, а для остальных оно увеличивается, так как произведение  $pb$  при этом уменьшается.

3. В табл. 14 приведены для примера двойные вычисления — потребного момента прокатки и допустимого обжатия. Практически, конечно, нет необходимости делать эти двойные вычисления; достаточно пользоваться для этого графиком.

Проверим выбранные обжатия с точки зрения прочности валков. Сначала определим величину наибольшего давления металла на валки для каждого калибра по формуле (42):

$$P = 0,1 D^3 \sigma \cdot \frac{l}{x(l-x)},$$

где  $P$  — давление металла на валки;

$D$  — рабочий диаметр валка в соответствующем калибре;

$\sigma$  — допускаемое напряжение материала валков;

$l$  — расстояние между серединами шеек валков;

$x$  — расстояние между осью данного калибра и серединой левой шейки.

Примем, что валки перетачиваются на 10% от номинального диаметра, т. е. на 95 мм. Материал валков — литая сталь с допускаемым напряжением  $\sigma = 1000$  кг/см<sup>2</sup>. Значения  $x$  берутся из рис. 90. Данные вычислений представлены в табл. 15:

Таблица 15

Калибры	$D$ мм	$0,1 D^2$ , см <sup>2</sup>	$\sigma$ кг/см <sup>2</sup>	$l-x$ , см	$x(l-x)$ , см <sup>2</sup>	$\frac{l}{x(l-x)}$	$P$ кг	$Pb$ , кг/мм	$\frac{P}{pb}$	$\left(\frac{P}{pb}\right)^2$	$(H-h)$ , мм
Гладкая часть	855	62500	135	156	21060	0,0138	862500	5292	163	26569	62
1-й врезной . .	705	35000	54,5	236,5	12890	0,0258	903000	3234	280	78400	222
2-й . . . . .	705	35000	211	80	16880	0,0173	605500	2616	231	53361	151
3-й . . . . .	705	35000	243	48	11660	0,0250	875000	2260	391	152881	434

Полученные результаты показывают, что обжатие слитка в первом пропуске будет близко подходить к предельному, допустимо-му условиями прочности стальных валков.

## 7. Прокатка слябов

Слябы прокатываются и на блумингах и на слябингах. Размеры слябов, прокатываемых на современных обжимных станах, находятся в следующих пределах: по ширине — от 500 до 1600 мм, по толщине — от 65 до 300 мм. К этим данным необходимо добавить, что на современных непрерывных заготовочных станах прокатываются легкие слябы с наибольшими размерами  $600 \times 75$  мм.

В соответствии с указанными выше размерами слябов размеры и вес слитков варьируют в широких пределах и достигают максимума: для блумингов: вес 12 т, ширина 1680 мм, толщина 585 мм; для слябингов: вес 20 т, ширина 1680 мм, толщина 840 мм.

Как было сказано раньше, величина обжатия при прокатке слябов берется в зависимости от мощности двигателя и прочности валков. При увеличении ширины слитка давление на валки возрастает пропорционально ширине слитка по известной формуле:

$$P = pb \sqrt{R(H-h)}.$$

Если, например, требуется прокатать слябы шириной 1050 мм, то давление металла на валки будет в полтора раза больше, чем при прокатке слитка стали такого же качества шириной 700 мм. Обжатие должно быть уменьшено в 2,25 раза (1,5), если давление на валки должно быть сохранено неизменным. При прокатке блюмов ширина слитка по ходу процесса уменьшается, и давление на валки падает; следовательно, обжатие можно постепенно увеличивать. При прокатке же слябов ширина слитка остается почти неизменной, и следовательно, обжатие во всех пропусках ограничено. Вполне понятно, что это относится к широким слябам. Практическая величина среднего обжатия при прокатке широких слябов (1000 мм и больше) не превышает 55 мм на слябингах; на блумингах она обычно ниже (40—35 мм). При прокатке узких слябов — шириной 500—800 мм — обжатия можно давать такие же, как при прокатке блюмов.

Это — первая особенность прокатки слябов. Вторая особенность заключается в наличии ребровых пропусков при прокатке слябов на блуминге, которые необходимы для выравнивания боковых кромок, имеющих вид, изображенный на фиг. 92, а. Образование подобного рода «наплывов» у контактных поверхностей вполне понятно из предыдущего рассмотрения вопроса о течении материала при прокатке на блуминге.

В соответствии с этим приходится после каждых 2—4, а в некоторых случаях после 6 «пластовых» пропусков давать 1—2 ребровых, в зависимости от того, имеется ли у блуминга один или два кантователя. При нешироких слябах к концу прокатки кромка может иметь не вогнутую, а выпуклую форму (рис. 92, б), которая также должна быть выравнена в ребровом калибре.

Порядок прокатки слябов на блуминге следующий. В первых двух или четырех пропусках слиток прокатывается на ребро, чтобы сбить окалину с широких сторон и получить заданную ширину сляба. После этого слиток кантуется и дальше обжимается плашмя (4—6 пропусков), затем опять на ребро (1—2 пропусков) и т. д. В последнем пропуске обжатие дается небольшое во избежание получения выпуклых кромок, которые могут создать затруднения при передвижении слябов в нагревательных печах листового стана.

Схема калибровки валков блуминга имеет вид, показанный на рис. 90. Ребровые пропуски производятся сначала на гладкой бочке до тех пор, пока толщина слитка не сделается примерно равной ширине наиболее широкого врезного калибра. С этого момента ребровые пропуски делаются во врезных калибрах, причем

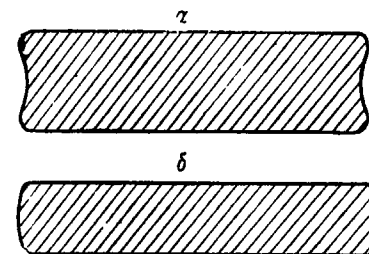


Рис. 92. Форма боковых кромок при прокатке слябов

калибры меняются в соответствии с уменьшением толщины слябов.

Прокатка в ребровых калибрах связана со значительной потерей времени на подъем и опускание верхнего вала. Например, при прокатке слябов наибольшей ширины 1600 мм необходимо поднимать и опускать верхний валок на величину до 1400—1500 мм. При скорости движения нажимных винтов 150 мм/сек потребовалось бы около 10 сек. для передвижения вала, не учитывая времени на разгон и торможение мотора. Вместе с этим временем пауза в таких случаях доходит до 13—14 сек. В блумингах, выпускающих значительное количество слябов, с целью общей экономии времени, кантовальные аппараты устанавливают иногда с обеих сторон стана, что позволяет давать только по одному ребровому пропуску после ряда пластовых.

При прокатке на слябинге только два или четыре первых пропуска являются ребровыми. Во всех остальных пропусках слиток

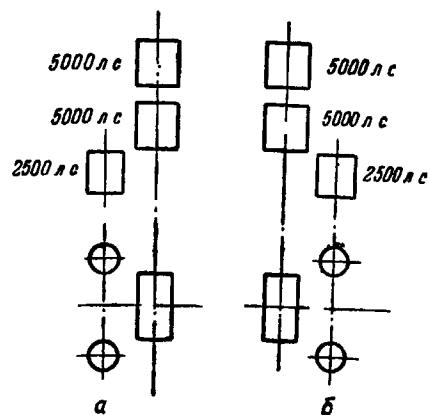


Рис. 93. Расположение вертикальных валков в слябинге

прокатывается плашмя, а кромки выравниваются вертикальными валками. По этой причине горизонтальные валки здесь делают гладкими, без врезных калибров. Вследствие отсутствия последних длина бочки валков на слябинге получается короче, чем на блуминге. Для прокатки слябов наибольшей ширины в 1600 мм достаточно длина бочки валков в 2000 мм.

Валок на слябинге получается более прочным, чем на блуминге, благодаря чему обжатия на слябинге можно дать более высокие по сравнению с блумингом. В соответствии с этим и мощность, потребная для при-

вода валков на слябинге, больше, чем на блуминге. Устанавливается два реверсивных мотора мощностью 5000 л. с., при  $n = 0—40—80$  об/мин. каждый с индивидуальным приводом каждого вала, т. е. без шестеренной клетки (рис. 71).

Вообще, конструктивные отличия слябинга от блуминга заключаются: 1) в наличии вертикальных валков, 2) в более короткой бочке валков при одинаковом диаметре, 3) в индивидуальном приводе валков (без шестеренной клетки). Во всем остальном слябинг имеет полное сходство с блумингом.

Обычно вертикальные валки располагаются с одной стороны стана, манипуляторные линейки с обеих сторон.

Вертикальные валки имеют диаметр от 610 до 1015 мм при длине бочки от 610 до 2030 мм. Валки в большинстве случаев приводятся от отдельного реверсивного мотора с  $N = 3000$  л. с.,  $n = 200$  об/мин через коническую передачу. Расстояние между валками для получения соответствующей ширины регулируется передвижением их от двух моторов мощностью по 75 л. с. каждый.

Кромки обжимаются вертикальными валками частично с одновременным обжатием слитка в горизонтальных валках. Например, при расстоянии между осями обеих пар валков 2500 мм и при достижении слитком длины, большей этого расстояния, прокатка в некотором промежутке времени будет происходить одновременно в двух клетях, причем продолжительность одновременного нахождения металла в обеих парах валков будет возрастать по ходу прокатки и к концу достигнет значительной величины. Таким образом, мы имеем здесь случай непрерывной прокатки в двух клетях, и следовательно, необходимо, чтобы через каждую клеть в единицу времени проходило одинаковое количество металла, т. е. чтобы:

$$(Fv)_{\text{гориз}} = (Fv)_{\text{верт.}}$$

На практике часто прокатку ведут таким образом, что горизонтальные валки несколько тянут металл из вертикальных, а эти последние работают с некоторым скольжением. Исходя из этого правила, слиток обжимают вертикальными валками в тех пропусках, при которых он вступает сначала в эти последние, а затем в горизонтальные. На рис. 93, б это будут четные пропуски. Если бы кромки обжимались в нечетных пропусках и при большей скорости прокатки в горизонтальных валках по сравнению с вертикальными, происходило бы нагнетание излишнего количества металла, т. е. получалось бы условие:

$$(Fv)_{\text{гориз}} > (Fv)_{\text{верт.}}$$

Это может привести к расстройству процесса прокатки и даже к авариям.

В соответствии с изложенным, схемы обжатий при прокатке слябов на блуминге и слябинге несколько различны, поэтому мы рассмотрим их отдельно. Возьмем для обоих случаев одинаковые размеры слитков и конечных сечений слябов. Пусть требуется прокатать сляб  $1100 \times 150$  мм. Выберем размеры слитка. Ширина слитка берется, исходя из общего сортамента прокатываемых слябов и применяемых изложниц.

Как общее правило, ширина слитка берется больше ширины сляба на 50—200 мм, чаще всего на 100—150 мм. Толщина слитков берется обычно в пределах 0,35—0,60 от ширины. Возьмем слиток с нижним сечением  $1200 \times 600$  мм. Верхнее сечение примем с уменьшением каждой стороны на 50 мм, т. е.  $1150 \times$

× 550 мм. Высоту слитка можно принять в 2000 мм, как это чаще всего имеет место на практике. Такой слиток мягкой стали будет весить

$$11,75 \times 5,75 \times 20 \times 6,5 = 8675 \text{ кг.}$$

Прокатка на блуминге. Порядок прокатки примем следующий:

- 1) первые два пропуска — ребровые;
- 2) после них каждые четыре пластовых пропуска чередуются с двумя ребровыми;
- 3) последний пропуск пластовой с обжатием в 5 мм.

Для определения максимальной величины обжатия можно использовать табл. 6; в ней даны значения обжатия при соответствующих значениях произведения  $pb$ , которое, следовательно, необходимо знать. Точнее говоря, нам надо определить сопротивление деформации  $p$ , для чего, как и раньше, воспользуемся формулой (45):

$$\sigma = (1,4 + C + Mn) (14 - 0,01 T).$$

Примем:

содержание углерода . . . . .	0,15%
• марганца . . . . .	0,55%
температуру начала прокатки . . . . .	1150°
• конца . . . . .	1100°

Тогда:

$$\sigma_1 = (1,4 + 0,15 + 0,55) (14 - 11,5) \approx 5,3 \text{ кг/мм}$$

$$\sigma_n = (1,4 + 0,15 + 0,55) (14 - 11) \approx 6,3 \text{ кг/мм}^2.$$

В первом пропуске примем  $p \approx 5,3 \text{ кг/мм}^2$ , в последнем пропуске, учитывая влияние скорости деформации,  $p = 6,3 \times 1,15 \approx 7,3 \text{ кг/мм}^2$ . Во всех остальных пропусках  $p$  будет иметь промежуточные значения. В соответствии с этим значением  $p$  величина

$$pb = (5,3 \cdot 7,3) \times 1100 = 5850 \div 8030 \text{ кг/мм.}$$

Как видно из данных табл. 6, этим значениям  $pb$  будут отвечать цифры обжатий в пластовых пропусках от 46 до 34 мм при моторе 7000 л. с. Эти цифры относятся к валкам диам. 1000 мм. Мы же будем вести прокатку на том же блуминге с валками диам. 950 мм., для которого рассчитывали выше схему обжатий и калибровки валков. Поэтому теоретически допустимая величина обжатия должна увеличиться. Однако, ввиду незначительности этого увеличения ( $\sim 5\%$ ), мы не будем вводить коррективы на диаметр валков. Средняя величина обжатия за пропуск получается

$$(46 + 34) : 2 = 40 \text{ мм.}$$

Примем его равным 34 мм, исходя из следующих соображений: величина общего обжатия равна:

$$600 - 150 = 450 \text{ мм,}$$

число пропусков при среднем обжатии 40 мм получилось бы

$$450 : 40 = 11,3, \text{ или } \sim 12;$$

в предположении, что блуминг имеет один кантователь, число пластовых пропусков должно быть нечетное, т. е. 13, и среднее обжатие будет равно 34,6 мм.

Число ребровых пропусков можно определить из формул:

$$n_1 = \frac{n-1}{m} + 2 \quad (46a)$$

$$n_1 = 2 \left( \frac{n-1}{m} \right) + 2, \quad (46b)$$

где  $n$  — общее число пластовых пропусков,

$m$  — число этих пропусков между отдельными кантовками.

Первая формула применяется на блумингах с двумя кантователями, вторая — с одним, причем в случае получения  $n_1$  дробным необходимо взять ближайшее большее число. Цифра 2, представляющая второе слагаемое в формулах, вводится для учета двух ребровых пропусков в начале прокатки.

В нашем случае число ребровых пропусков будет равно:

$$n_1 = 2 \frac{(13-1)}{4} + 2 = 8.$$

Схема обжатий слитка представлена в табл. 16.

Если стан будет иметь два кантователя, то число ребровых пропусков сократится на три, так как можно дать обжатие 20 мм за один ребровой пропуск. Следовательно, отпадают пропуски 8, 14 и 20-й. Общее число пропусков должно быть нечетное, поэтому пластовых пропусков можно взять 12 со средним обжатием 37,5 мм за пропуск. Таким образом, общее число пропусков уменьшится до 17, что значительно повысит производительность блуминга.

Прокатка на слябинге. Если принять слябинг с двумя моторами по 5000 л. с., то общая мощность привода получается примерно на 40—45% выше, чем на блуминге с мотором 7000 л. с. Следовательно, обжатие за пропуск ориентировочно можно принять в пределах:

$$(46 : 34) \times 1,4 = 64 : 47 \text{ мм.}$$

Среднее обжатие за пропуск получается равным 55 мм. Следовательно, для обжатия слитка на 450 мм достаточно дать 9 пластовых пропусков. Учитывая два ребровых пропуска в начале прокатки, получим общее число пропусков 11. Схема обжатий приведена в табл. 17.

Таблица 16

№ пропусков	Сечение слитка после пропуска, мм × мм	Обжатие мм	Уширение, мм	Площадь поперечного сечения, см²	Коэффициент вытяжки	Длина слитка после пропуска м
0	1200 × 600	—	—	7200	—	2,0
1	1150 × 600	50	0	6900	1,044	2,0
2	1100 × 600	50	0	6600	1,046	2,0
3	Кантовка 1105 × 560	40	5	6188	1,066	2,0
4	1110 × 520	40	5	5772	1,072	2,1
5	1115 × 480	40	5	5352	1,078	2,2
6	1120 × 440	40	5	4928	1,086	2,3
7	Кантовка 1110 × 440	10	0	4884	1,009	2,3
8	1100 × 440	10	0	4840	1,009	2,3
9	Кантовка 1105 × 400	40	5	4420	1,095	2,5
10	1110 × 365	35	5	4052	1,091	2,7
11	1115 × 330	35	5	3680	1,101	2,9
12	1120 × 295	35	5	3304	1,114	3,3
13	Кантовка 1110 × 295	10	0	3275	1,009	3,3
14	1100 × 295	10	0	3245	1,009	3,3
15	Кантовка 1105 × 260	35	5	2873	1,122	3,8
16	1110 × 225	35	5	2498	1,150	4,3
17	1115 × 190	35	5	2119	1,179	5,0
18	1120 × 155	35	5	1736	1,222	6,0
19	Кантовка 1110 × 155	10	0	1720	1,009	6,0
20	1100 × 155	10	0	1705	1,009	6,0
21	Кантовка 1100 × 150	5	0	1650	1,033	6,1

С такими обжатиями обычно и производится прокатка слябов на слябингах. Например, прокатка слитка 1400 × 740 мм в слябы 1015 × 152 мм ведется за 19 пропусков, из которых 5 (первых) ребровых и 14 пластовых со средним обжатием за пропуск ~ 53 мм. В схеме табл. 17 среднее обжатие за пропуск равно 50 мм.

Таблица 17

№ пропусков	Сечение слитка после пропуска мм × мм	Горизонтальные валки		Обжатие в вертикальных валках, мм	Площадь поперечного сечения, см²	Коэффициент вытяжки	Длина слитка после пропуска, м
		обжатие мм	уширение мм				
0	1200 × 600	—	—	—	7200	—	2,0
1	1150 × 600	50	0	—	6900	1,044	2,0
2	1100 × 600	50	0	—	6600	1,046	2,0
3	Кантовка 1106 × 540	60	6	—	5972	1,105	2,1
4	1100 × 480	60	7	13	5280	1,131	2,3
5	1108 × 420	60	8	—	4653	1,135	2,5
6	1100 × 360	60	9	17	3960	1,175	2,8
7	1109 × 305	55	9	—	3380	1,172	3,2
8	1100 × 250	55	10	19	2750	1,230	4,0
9	1110 × 200	50	10	—	2220	1,238	4,9
10	1098 × 160	40	12	22	1756	1,265	6,0
11	1100 × 150	10	2	—	1650	1,064	6,1

### 8. Производительность блуминга

Выше (стр. 42) была выведена формула (17) для определения величины машинного времени при прокатке на реверсивном стане:

$$T_m = C \frac{L}{D} + kA,$$

в которой было принято:

$$C = \frac{19}{n_2}, \quad k = \frac{a+b}{2ab} \quad \text{и} \quad A = \frac{(n_2 - n_1)^2}{n_2},$$

где  $n_1$  — число оборотов валков при захвате и выпуске слитка;

$n_2$  — число оборотов валков при постоянной скорости;

$a$  — ускорение стана в об/мин за секунду;

$b$  — замедление » » » » ;

$L$  — длина слитка после пропуска;

$D$  — диаметр валков.

Рассмотрим эти элементы формулы применительно к условиям прокатки на блуминге.

Число оборотов валков при захвате и выпуске слитка. Практика работы наших блумингов дает  $n_1 = n_3 = 10 \div 30$ , для последнего пропуска  $n_3$  доходит до 50.

При выборе этих чисел оборотов следует руководствоваться следующими соображениями.

Более высокие числа оборотов при захвате слитка валками и выпуске его из валков повышают скорость прокатки и, следо-

вательно, снижают машинное время. Значит, с этой точки зрения было бы желательно иметь эти числа возможно более высокими.

Однако значительному повышению числа оборотов валков препятствует следующее:

1. Сильные удары при впуске слитка в валки с большой скоростью, что вредно отражается на состоянии оборудования и может вызвать поломки отдельных деталей стана при повторных резких толчках; эти удары особенно опасны в первых пропусках, когда наличие окалины на поверхности слитка может вызывать буксование его в валках с последующим затем сильным ударом. Они опасны и в тех пропусках, которые производятся с большими углами захвата, когда также возможно возникновение буксования при больших скоростях. Ведь реверсивный стан имеет то преимущество по сравнению со станами других типов, что в нем можно осуществлять плавный захват слитка при малом числе оборотов с доведением затем скорости прокатки до максимума. Когда это основное положение нарушается, поломки и аварии неизбежны.

2. Забрасывание слитка на значительное расстояние от валков при выпуске его с большой скоростью. После этого затрудняется задача слитка в валки, особенно с задней стороны стана, так как он теряет правильное направление в соответствующий калибр. Следовательно, выигрыш в машинном времени может быть поглощен частью или целиком увеличившейся паузой, и вместо выигрыша времени получится потеря его. С большой скоростью можно выпускать слитки из валков в тех пропусках, после которых следует пауза с кантовкой, и в последнем пропуске.

3. Увеличение скорости деформации и, следовательно, повышение напряжений в металле слитка, могущих вызвать разрыв сплошности в отдельных частях его; это имеет особенное значение в начальных пропусках.

Исходя из сказанного, следует принять число оборотов валков при захвате и выпуске слитка в пределах 10–30 в мин., т. е.

$$n_1 = n_2 = 10 \div 30.$$

Отношение  $\frac{n_2}{n_1}$  для блюминга можно принять равным 2,5 до  $n_2 = 50$  и 3 для более высокого значения  $n_2$ . В соответствии с этим получим следующий ряд чисел для  $n_1$  и  $n_2$ :

$n_1 = 10$	соответствует	$n_2 = 25$
$n_1 = 15$	"	$n_2 = 37,5$
$n_1 = 20$	"	$n_2 = 50$
$n_1 = 20$	"	$n_2 = 60$
$n_1 = 25$	"	$n_2 = 75$
$n_1 = 30$	"	$n_2 = 90$

При дальнейшем повышении  $n_2$  до 120 в минуту  $n_1$  не будет меняться, оставаясь равным 30.

Ускорение и замедление. Современные реверсивные моторы большой мощности рассчитываются на работу с ускорением 20 об/мин за секунду и с замедлением 40 об/мин за секунду. В соответствии с этим коэффициент  $k$  получается равным:

$$k = \frac{20 + 40}{2 \cdot 20 \cdot 40} \approx \frac{1}{27}.$$

Теперь можно написать формулу для определения машинного времени в следующих вариантах:

при  $\frac{n_2}{n_1} = 2,5$ :

$$T_m = \frac{19}{2,5n_1} \cdot \frac{L}{D} + \frac{1}{27} \cdot \frac{2,25n_1}{2,5},$$

или

$$T_m = \frac{7,6}{n_1} \cdot \frac{L}{D} + 0,033 n_1;$$

при  $\frac{n_2}{n_1} = 3$ :

$$T_m = \frac{19}{3n_1} \cdot \frac{L}{D} + \frac{1}{27} \cdot \frac{4n_1}{3},$$

или

$$T_m = \frac{6,33}{n_1} \cdot \frac{L}{D} + 0,049 n_1.$$

Для принятых значений  $n_1$  получаются следующие значения  $T_m$ :

$$n_1 = 10 \quad T_m = 0,76 \cdot \frac{L}{D} + 0,33$$

$$n_1 = 15 \quad T_m = 0,50 \cdot \frac{L}{D} + 0,50$$

$$n_1 = 20 \quad T_m = 0,38 \cdot \frac{L}{D} + 0,66$$

$$n_1 = 20 \quad T_m = 0,32 \cdot \frac{L}{D} + 0,98$$

$$n_1 = 25 \quad T_m = 0,25 \cdot \frac{L}{D} + 1,25$$

$$n_1 = 30 \quad T_m = 0,21 \cdot \frac{L}{D} + 1,50.$$

Таким образом, пользуясь одним из этих выражений, можно определить время  $T_m$  для числа оборотов в минуту  $n_2 = 25—90$ . Для  $n_2 > 90$  можно  $T_m$  вычислить непосредственно по формуле (17). Надо, однако, заметить, что в обычной практике редко приходится производить прокатку с  $n_2 > 90$ . Но теперь возникает вопрос: при каком значении отношения  $\frac{L}{D}$  надо применять то



или иное из указанных выше выражений, иначе говоря: какой минимальной длине слитка соответствует то или иное число оборотов  $n^2$ ?

Для решения этой задачи возьмем ранее выведенное равенство (14) на стр. 41:

$$L = \frac{\pi D}{120} \cdot \frac{a+b}{ab} \cdot (n_2^2 - n_1^2) + \frac{\pi D n_2 t_2}{60}$$

Преобразуем это равенство, приняв во внимание следующее:

1) Вопрос идет о минимальной длине полосы, прокатываемой при новом числе оборотов  $n_2$ , поэтому время  $t_2$  практически можно принять равным 0,5 сек. В дальнейших пропусках оно будет возрастать с увеличением длины полосы (рис. 94).

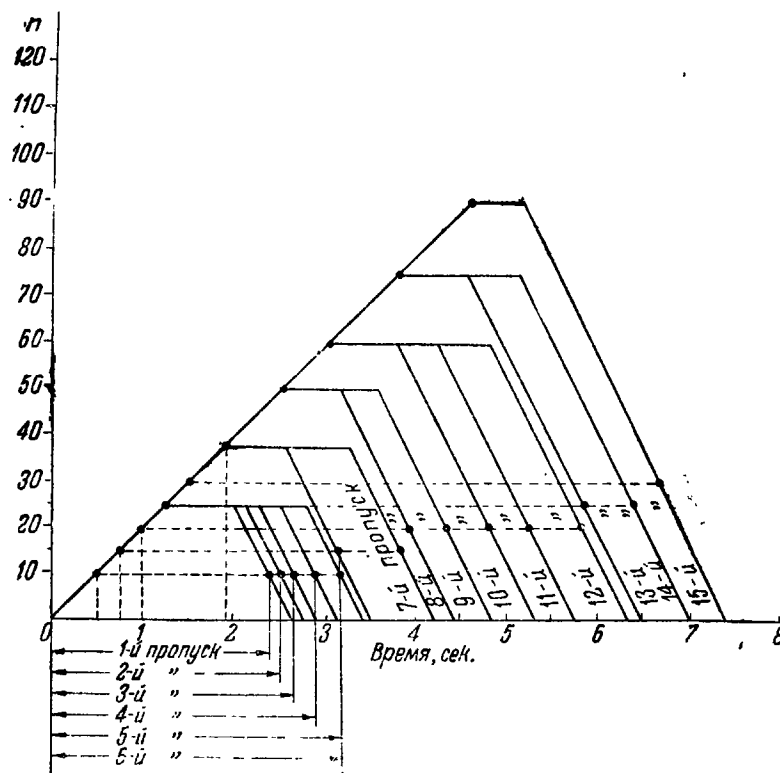


Рис. 94. Диаграмма числа оборотов валков при прокатке на блюминге

Как и выше, принимаем:

$$a = 20, b = 40, \frac{n_2}{n_1} = 2,5 \text{ и } 3.$$

3) В формуле (14) переменными являются  $L$  и  $D$ , поэтому удобнее решать приведенное равенство относительно  $\frac{L}{D}$ . После преобразований это равенство принимает вид:

$$\frac{L}{D} = \frac{n_2^2 - n_1^2}{510} + \frac{n_2}{38,2}$$

При значениях отношения  $\frac{n_2}{n_1}$ , принятых выше, имеем:

$$\text{при } \frac{n_2}{n_1} = 2,5, \text{ т. е. при } n_2 = 25 \div 50:$$

$$\frac{L}{D} = 0,00165 n_2^2 + 0,026 n_2;$$

$$\text{при } \frac{n_2}{n_1} = 3, \text{ т. е. при } n_2 = 60 \div 90:$$

$$\frac{L}{D} = 0,00174 n_2^2 + 0,026 n_2.$$

Для отдельных значений  $n_2$  отношение  $\frac{L}{D}$  выражается следующими величинами:

$$n_2 = 25 \quad \frac{L}{D} = 1,68$$

$$n_2 = 37,5 \quad \frac{L}{D} = 3,29$$

$$n_2 = 50 \quad \frac{L}{D} = 5,42$$

$$n_2 = 60 \quad \frac{L}{D} = 7,82$$

$$n_2 = 75 \quad \frac{L}{D} = 11,74$$

$$n_2 = 90 \quad \frac{L}{D} = 16,43$$

Пользуясь этими величинами, можно при данном диаметре валков вычислить минимальную длину слитка  $L$ , при которой можно вести прокатку с новым числом оборотов.

Паузы между пропусками. Все паузы между пропусками на блюминге обычно разбиваются на две категории: паузы без кантовки слитка и паузы с кантовкой слитка.

Каждая из пауз первой категории включает следующие три операции: 1) реверсирование главного мотора, 2) установку верхнего валка, 3) передвижение слитка по рольгангу.

В паузы второй категории, кроме этих трех операций, входят еще кантовка слитка и передвижение его линейками. Последняя операция часто применяется и в паузах первой категории, когда

требуется поправить слиток для точного направления в калибр или выправить линейками искривившийся слиток.

В каждой паузе все операции совмещаются во времени, чем достигается сокращение его до минимума. Так, при современных характеристиках скоростей вспомогательных механизмов блуминга можно принять среднюю величину пауз при прокатке блюмов (в сек):

без кантовки . . . . .	2
с кантовкой . . . . .	4,5
между слитками . . . . .	4,5—6

При прокатке широких слябов на блуминге паузы с кантовкой и между слитками будут иметь большую продолжительность, что связано с необходимостью передвижения нажимных винтов на значительную величину, которая зависит, естественно, от ширины слябов. Чем шире слябы, тем продолжительнее пауза, и как указывалось уже раньше, при прокатке наиболее широких слябов (до 1600 мм) эти паузы достигают 13—14 сек.

Производительность блуминга при прокатке блюмов и слябов различных размеров. Для определения часовой производительности блуминга можно пользоваться формулой:

$$A = \frac{3600 G}{\sum T_m + \sum T_n},$$

где  $A$  представляет собой вес слитков в час, как принято считать для блумингов и слябингов.

Эта формула показывает, что производительность блуминга пропорциональна весу слитка и обратно пропорциональна затрачиваемому времени. На практике с увеличением веса слитка обычно увеличивается и расход времени. Поэтому переход на увеличенный вес слитка целесообразен, очевидно, только при условии, если он возрастает быстрее, чем расход времени на прокатку. В этом случае вес слитка выгодно иметь по возможности больший. Какой же наибольший вес слитка можно принять? Ответ на этот вопрос зависит от ряда факторов.

Прежде всего, вес слитка зависит от сечения бруса, которое связано с окончательной длиной прокатываемой полосы. Вообще говоря, эта длина колеблется в широких пределах. Например, на некоторых европейских заводах она достигает 40 м. На наших новых блумингах она находится большей частью в пределах 12—20 м. Такая длина позволяет легко и быстро производить кантовку между пропусками. При большей длине кантовка в последних пропусках сильно затягивается, что снижает производительность стана. Хотя при прокатке малых сечений отношение  $\frac{\sum T_m}{\sum T_n}$  более благоприятно, чем при прокатке больших сечений, однако произ-

водительность стана заметно падает вследствие увеличения общего времени прокатки ( $\sum T_m + \sum T_n$ ).

На рис. 95 представлена диаграмма изменения производительности блуминга в зависимости от общего удлинения. Из нее видно, что например при 8-кратном удлинении производительность составляет 100%. Такой случай может иметь место, например, при прокатке блюмов  $200 \times 200$  мм из слитка сечением  $565 \times 565$  мм. Если же из этого слитка прокатывать блюмы  $150 \times 150$  мм с общим удлинением 14,2, то производительность составит около 75% от предыдущей.

Практика производства на современном металлургическом заводе базируется на прокатке крупных слитков весом 6—8 т в блюмы сечением квадрат 240—260 мм с общим удлинением около 6—8. С таким же удлинением прокатываются и слябы. Только в спе-

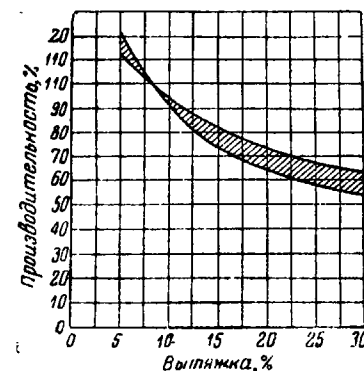


Рис. 95. Изменение производительности блуминга в зависимости от удлинения

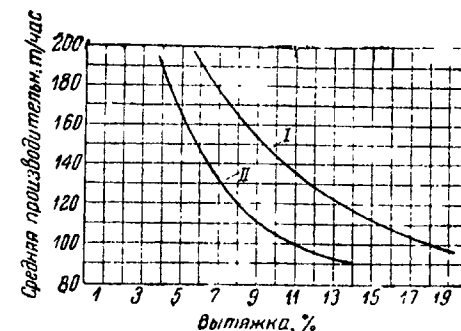


Рис. 96. Изменение производительности блуминга при прокатке слитков весом 7,5 и 5 т с различным удлинением

циальных случаях, например, при ограниченном масштабе производства или при прокатке легированных сталей прокатываются блюмы меньших сечений из более легких слитков. Подобная практика вполне отвечает, так сказать, природе стана с валками большого диаметра, на котором эффективно можно вести прокатку с выпуском блюмов только крупных размеров при производстве большого тоннажа. На рис. 96 показаны две кривые, характеризующие производительность стана при прокатке слитков, весом около 7,5 (I) и 5 т (II) с различным удлинением. Например, при 8-кратной вытяжке часовая производительность составит соответственно 160 и 120 т.

По данным практики заводов США средняя часовая производительность различных блумингов составляет:

Блуминг	Мотор, л. с.	Производительность, т
815—915 мм	3750	50—60
915	5000	63—75
915	6500	65—87
1015—1120	7000	175—200

Эти данные связываются, конечно, с размерами блумов и весом слитков, которые по отдельным станам можно распределить таким образом:

Блуминг	Вес слитка т	Блумы, сечение мм
815—915 мм	2—3,5	125—180
915	3—4	150—200
915	4—5	150—200
1015—1120	5—8	200—250

Практика заводов СССР дает более высокую производительность блумингов, доходящую в среднем до 250 т в час при прокатке блумов сечением  $240 \times 240$  мм и до 320 т при прокатке блумов сечением  $300 \times 300$  мм. Такая производительность могла быть достигнута только при стахановских методах работы.

Вообще, если исходить из конечных длин 12—20 м, то среднюю фактическую часовую производительность можно принять в следующих размерах:

Блумы, сечение мм	Вес слитка т	Конечная длина м	Производи- тельность т
$125 \times 125$	2,5	20	60
$150 \times 150$	3,5	20	90
$180 \times 180$	4,5	19	130
$200 \times 200$	5,5	18	180
$250 \times 250$	7,0	15	250
$300 \times 300$	8,0	11,5	320

Эти цифры могут, разумеется, изменяться еще в зависимости от того, какой процент слитков крепких марок прокатывается на блуминге.

Годовая производительность блуминга определяется умножением приведенных значений часовой производительности на 7000 — число часов работы блуминга в год:

Блумы, сечение мм	Производительность т
$125 \times 125$	$60 \times 7000 = 420\,000$
$150 \times 150$	$90 \times 7000 = 630\,000$
$180 \times 180$	$130 \times 7000 \approx 900\,000$
$200 \times 200$	$180 \times 7000 \approx 1\,250\,000$
$250 \times 250$	$250 \times 7000 = 1\,750\,000$
$300 \times 300$	$320 \times 7000 \approx 2\,250\,000$

При прокатке слябов производительность блуминга и слябинга подвержена большим колебаниям, вследствие большого разнообразия размеров слябов и слитков. В среднем можно считать, что производительность блуминга при прокатке слябов мало изменяется по сравнению с той, которая получается при прокатке блумов. Увеличенное число пропусков и затяжные паузы при прокатке слябов компенсируются большим весом прокатываемых слитков. Про-

изводительность слябинга выше производительности блуминга, благодаря отсутствию ребровых пропусков и прокатки более тяжелых слитков. Производительность современного слябинга можно принять в 2 млн. т.

Пример определения производительности блуминга. Определим часовую производительность блуминга при прокатке слитка крепкой стали  $630 \times 630$  весом 4600 кг в блумы  $200 \times 200$  мм по схеме табл. 12. Из нее возьмем значения длин слитка после пропусков ( $L$ ), а из табл. 14 рабочие диаметры валков ( $D$ ) и числа оборотов в период постоянной скорости ( $n_2$ ). Чтобы определить  $T_m$  по формулам, приведенным на стр. 135, необходимо вычислить отношение  $\frac{L}{D}$ . Величину  $T_m$  можно определить, пользуясь графиком, рис. 38 (стр. 42). Величину пауз примем в соответствии с изложенным выше (в сек.):

без кантовки . . . . .	2
с кантовкой . . . . .	4,5
между слитками . . . . .	4,5

Последнюю величину выбираем на основе следующих соображений:

- 1) слиток в последнем пропуске имеет высоту 200 мм;
- 2) глубина калибра равна 150 мм, поэтому последний пропуск производится с подъемом верхнего валка на 50 мм ( $200 - 150$  мм);
- 3) при нормальном зазоре между валками в 10 мм просвет в гладкой части валков при последнем пропуске равен 60 мм ( $50 + 10$  мм);
- 4) после первого пропуска слиток имеет высоту 575 мм;
- 5) необходимо поднять верхний валок после окончания прокатки слитка на 515 мм ( $575 - 60$ );
- 6) при максимальной скорости подъема верхнего валка 150 мм/сек средняя скорость составляет  $150 \times 0,8 = 120$  мм;
- 7) время подъема верхнего валка:

$$515 : 120 \approx 4,5 \text{ сек.}$$

Составим табл. 18.

Время прокатки слитка составляет:

$$T = 52 + 56,5 \approx 108 \text{ сек.}$$

Часовая производительность стана получается: технически возможная:

$$A = \frac{3600 \times 4,6}{108} = 153 \text{ т,}$$

практически возможная при коэффициенте использования 0,8:

$$A_1 = 153 \times 0,8 \approx 123 \text{ т.}$$

Если бы стан прокатывал слитки стали только крепких марок, то его производительность в год составила бы:

$$123 \times 7000 = 860 \text{ тыс. т.}$$

Таблица 18

№ пропусков	Длина $L$ слитка после пропуска, м	Рабочий диаметр $D$ вал- ков, мм	Отношение $\frac{L}{D}$	$n_2$	Машинное время, сек.	Паузы сек.
1	2,1	950	2,23	25	2,0	2,0
2	2,1	950	2,23	25	2,0	4,5
3	2,2	950	2,34	25	2,1	2,0
4	2,3	950	2,42	25	2,2	4,5
5	2,4	950	2,53	25	2,3	2,0
6	2,5	950	2,63	25	2,4	4,5
7	2,7	950	2,85	25	2,5	2,0
8	3,0	950	3,16	25	2,6	4,5
9	3,4	950	3,58	37,5	2,3	2,0
10	4,1	950	4,32	37,5	2,7	4,5
11	4,7	800	5,88	50	2,9	2,0
12	5,6	800	7,0	50	3,3	4,5
13	6,6	800	8,3	60	3,7	2,0
14	8,0	800	10,0	60	4,2	4,5
15	9,7	800	12,1	75	4,3	2,0
16	12,5	800	15,6	75	5,2	4,5
17	14,3	800	17,9	90	5,3	4,5
Сумма . . .		—	—	—	52,0	56,5

Если же принять соотношение слитков крепкой и мягкой стали в 30 и 70%, то производительность стана может быть определена на основании следующих расчетов:

1) практическая часовая производительность при прокатке слитков мягкой стали с нижним сечением  $650 \times 650$  мм и весом 5,5 т в блюмы  $200 \times 200$  мм, согласно приведенным выше цифрам, составляет 180 т;

2) средняя часовая производительность блюминга

$$(123 \times 0,3) + (180 \times 0,7) = 163 \text{ т.}$$

3) годовая производительность

$$163 \times 7000 = 1140 \text{ тыс. т.}$$

### 9. Расположение реверсивных блюмингов и слябингов

Проектирование расположения блюминга в цехе представляет собой довольно сложную задачу, так как при решении ее приходится принимать во внимание много факторов, влияющих в конечном итоге на работу стана. К числу таких факторов относятся: 1) связь блюминга с нагревательными колодцами, 2) связь блюминга со станами последующей переработки его продукции,

3) связь блюминга со складом заготовок, 4) связь блюминга с машинным залом, 5) уборка отходов производства — обрезков и окарины.

Рассмотрим все эти факторы.

1. Применяются два типа расположения нагревательных колодцев — продольное и поперечное. При продольном расположении (рис. 99) здание нагревательных колодцев представляет как бы продолжение здания блюминга. Путь, по которому движется тележка со слитком, подходит в торец рольганга. При поперечном расположении (рис. 98) ось здания колодцев перпендикулярна оси здания блюминга и путь для подачи слитков перпендикулярен оси рольганга.

Каждый из этих типов расположения колодцев имеет свои преимущества и недостатки. При поперечном расположении путь тележки получается короче, что имеет особенное значение при двух и более блюмингах в цехе. Далее, общее число групп колодцев и обслуживающих их кранов может быть меньше, чем при продольном расположении.

Если же рассматривать оба варианта с точки зрения транспорта и связи со сталеплавильным цехом, то предпочтение следует отдать продольному расположению, так как 1) подача слитков получается прямой, между тем как при перпендикулярном расположении эта подача связана с прямым и возвратным движением состава; 2) пути прокатного цеха расположены вдоль зданий и при продольном расположении связываются с общими заводскими путями; при поперечном расположении здание нагревательных колодцев перерезает цеховые пути, делая все их тупиковыми.

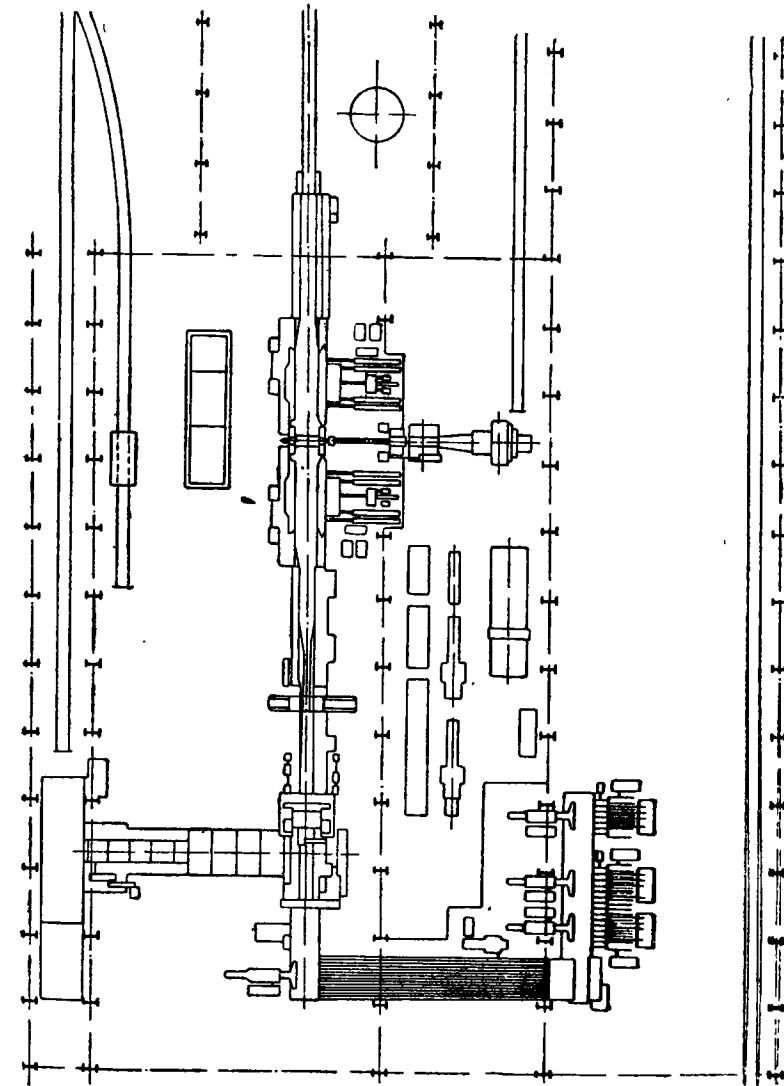
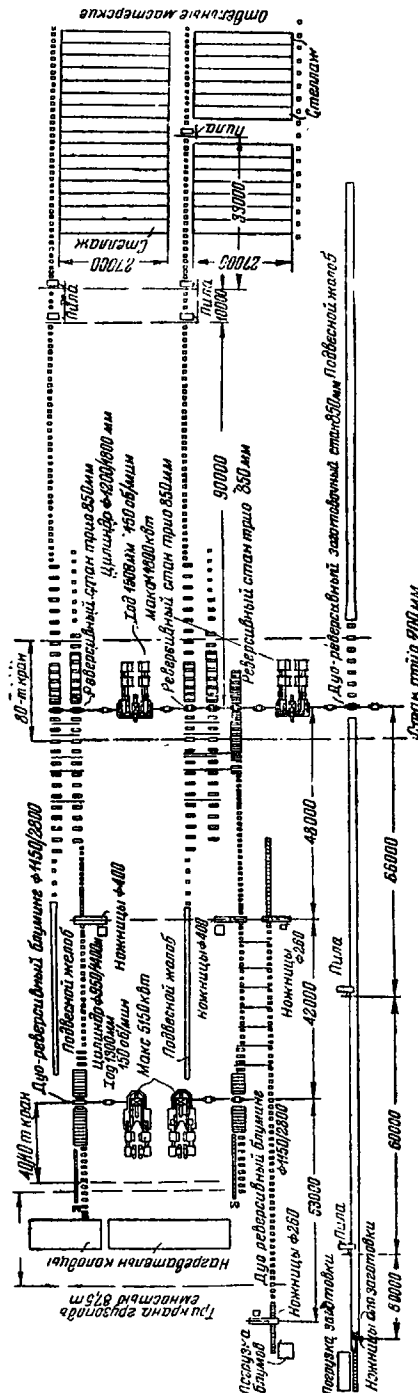
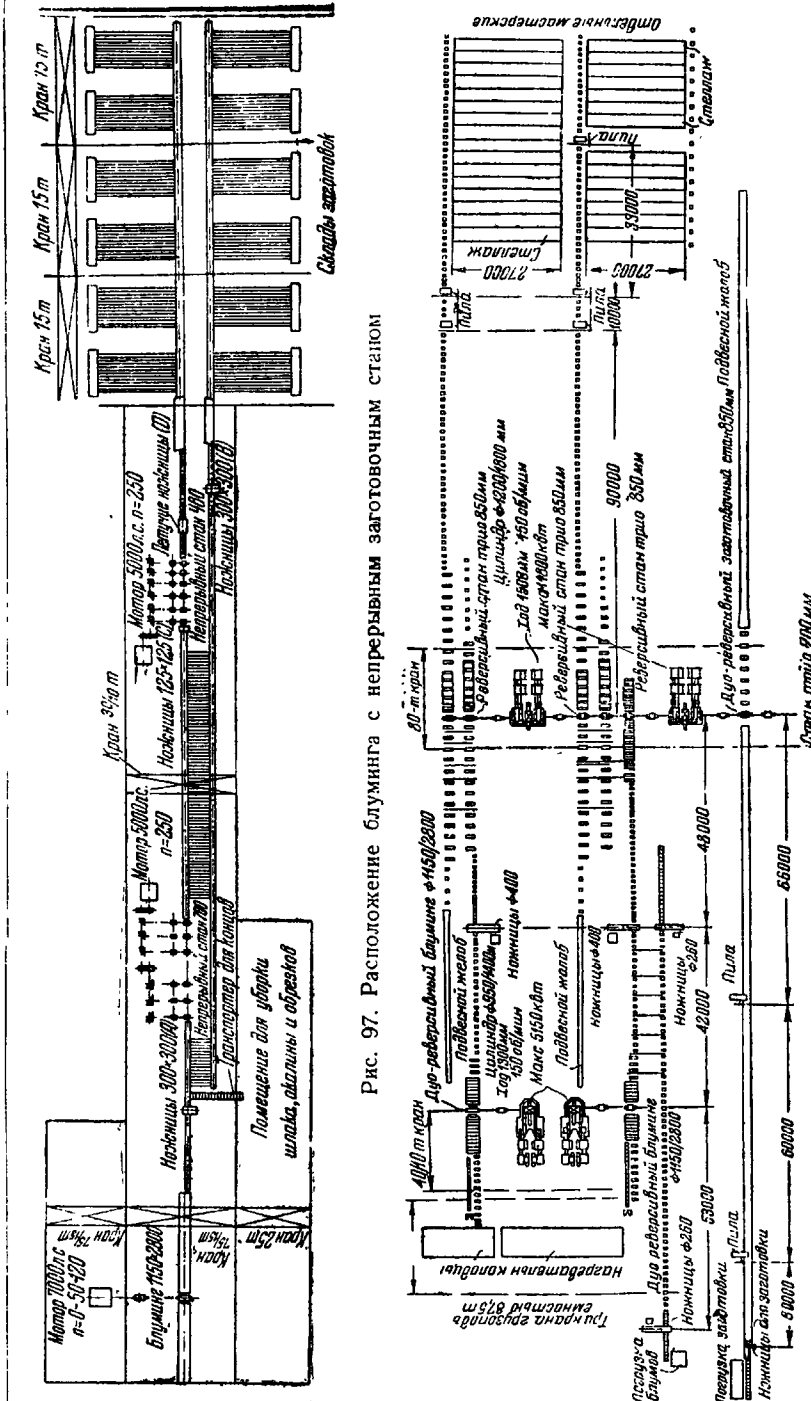
2. В отношении связи блюминга со станами последующей переработки его продукции можно наметить два основных варианта: первый, когда следующие за блюмингом станы ведут прокатку из блюмов или слябов без вторичного нагрева, второй, когда прокатка в отделочных станах ведется с промежуточным подогревом полупродукта.

На рис. 97 представлено расположение блюминга с непрерывным заготовочным станом, прокатывающим блюмы в заготовку. В этом случае блюмы после ножниц имеют два направления: 1) на непрерывный заготовочный стан (основное направление) и 2) на склад как товарная продукция.

На рис. 98 показано расположение блюминга в увязке с реверсивными рельсобалочными станами, ведущими прокатку обычно без промежуточного подогрева.

Прокатка с промежуточным нагревом полупродукта ведется на некоторых рельсобалочных и листовых станах. В таких случаях предусматриваются три направления полупродукта после блюминга или слябинга: на склад, в подогревательные печи сразу после ножниц и непосредственно в отделочный стан, минуя печи.

На рис. 99 показано расположение блуминга, прокатывающего почти исключительно слябы, идущие на склад, откуда они на-



правляются для дальнейшей переработки на непрерывные листовые станы.

Как видно из всех этих фигур, склад блумов и слябов может располагаться сбоку здания блуминга (рис. 99) или поперек его (рис. 97), причем в первом случае склад может находиться со

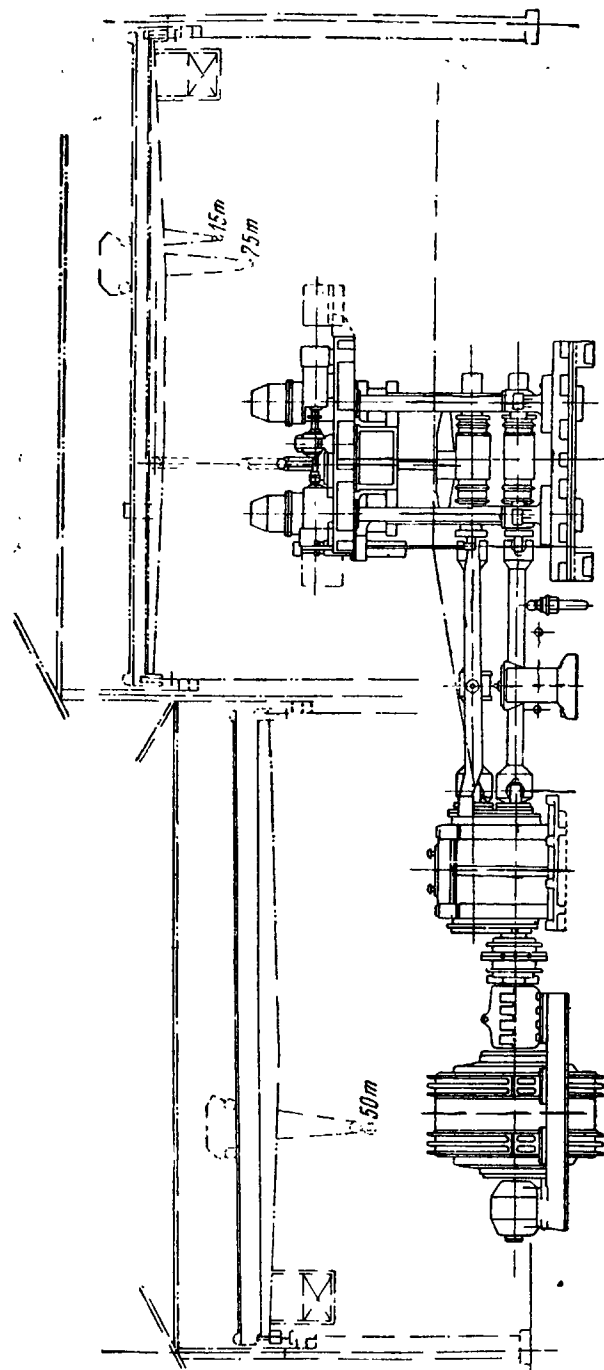


Рис. 100. Блуминг с размещением шестеренной клетки в машинном зале

стороны машинного зала или с противоположной стороны. Последний вариант менее желателен, так как склад блюмов и слябов здесь помещается рядом с площадями, на которых находятся обрезки, окалина и шлак, что неизбежно загрязняет помещение, между тем склад полупродукта должен быть совершенно чистым.

Большая часть блумингов и слябингов располагается в здании таким образом, что рабочая и шестеренная клетки помещаются в основном пролете стана, который в этом случае должен иметь ширину до 27—30 м. В некоторых случаях для уменьшения ширины здания стана помещают шестеренную клетку в машинном зале (рис. 100). В этом случае ширина станвого пролета может быть снижена до 19,3 м. Такой же пролет имеет и машинный зал. В случае же размещения шестеренной клетки в становом пролете, машинный зал может иметь меньший пролет, хотя это не всегда так делается, учитывая необходимость свободного размещения всего оборудования.

Уборка отходов производства — шлака, окалина и обрезков, осуществляется различными методами. При расположении цеха, как показано на рис. 97, все отходы поступают в одно помещение, расположенное на продолжении здания нагревательных колодцев и сбоку станвого пролета (так называемый «скрапный пролет»). Сюда выходит конец конвейера для обрезков, туннели, по которым вывозятся коробки с окалиной из-под стана, и шлаковый туннель от нагревательных колодцев. Погрузка отходов производится краном 25/5 т в вагоны, устанавливаемые на двух железнодорожных путях.

Такая организация уборки отходов вполне целесообразна, так как главный пролет освобождается от грязи и скрапа и задача транспорта в нем сводится к доставке валков и запасных частей. Но она осуществима только при сухом методе уборки окалины, так как при мокром методе яму, в которую смывается окалина, приходится располагать в становом пролете, во избежание значительного заглубления ее при выводе в «скрапный пролет».

## 10. Многоклетевые блуминги

Под этим названием подразумеваются блуминги, состоящие из двух и более клеток. Они могут быть разделены на две основные группы: 1) станы, включающие две реверсивные клетки дуо, и 2) станы, имеющие в своем составе несколько клеток дуо неревверсивных и трио. Станы первой группы встречаются чаще станов второй группы.

Примером блуминга, состоящего из двух реверсивных клеток дуо, может служить блуминг, показанный на рис. 101. Первая клетка его представляет реверсивный стан дуо с валками диам. 1100 мм, приводимыми от мотора 7000 л. с. Вторая реверсивная клетка имеет валки диам. 900 мм с приводом от мотора 4000 л. с.

На первой клетке слиток обжимается в блюмы  $300 \times 300$  мм, а дальнейшее уменьшение сечения до  $200 \times 170$  мм производится в клетке 900. Часть металла после первой клетки направляется на рельсобалочный стан.

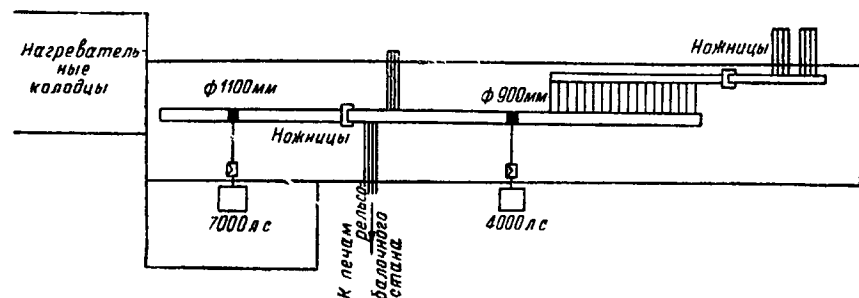


Рис. 101. Двухклетевой реверсивный блуминг

Схема другой установки блуминга с двумя реверсивными клетями показана на рис. 102. Первая клетка имеет валки 1015 мм, приводимые мотором 7000 л. с., вторая клетка имеет валки 815 мм и мотор 4000 л. с. От каждого из этих станов идут два потока металла: от первой клетки (1015 мм) — к клетке 815 мм и к ножницам № 1 и 2, а от второй клетки (815 мм) — к ножницам № 2 и к непрерывному заготовочному стану 530 мм.

Типовые программы станов следующие (конечные сечения блюмов):

Стан 1015 мм	Стан 815	Стан 1015 мм	Стан 815 мм
380×240 мм	203×203 мм	240×190 мм	203×76 мм
330×190 "	178×178 "	254×190 "	127×63 "
330×190 "	152×152 "	190×158 "	127×127 "
280×190 "	102×102 "	190×158 "	120×120 "
610×152 "	610×50 "	190×158 "	106×106 "
380×240 "	380×102 "	280×190 "	146×146 "
		457×152 "	457×50 "

Рассмотрим несколько примеров блумингов, состоящих только из неререверсивных клетей дуо или из комбинации клетей дуо и трио.

На рис. 103 приведено расположение блуминга рельсового стана с последовательным расположением клетей. Он состоит из четырех клетей дуо и одной клетки трио. Каждая две клетки дуо имеют привод от мотора 2000 л. с. и клетка трио — от мотора 6000 л. с. Число оборотов валков в минуту: клетки дуо № 1 и 2 — 6,3; клетки № 3 и 4 — 10,5; клетка трио — 75. Номинальный диаметр валков в клетях дуо 1070 мм и клетки трио 1015 мм. В первых

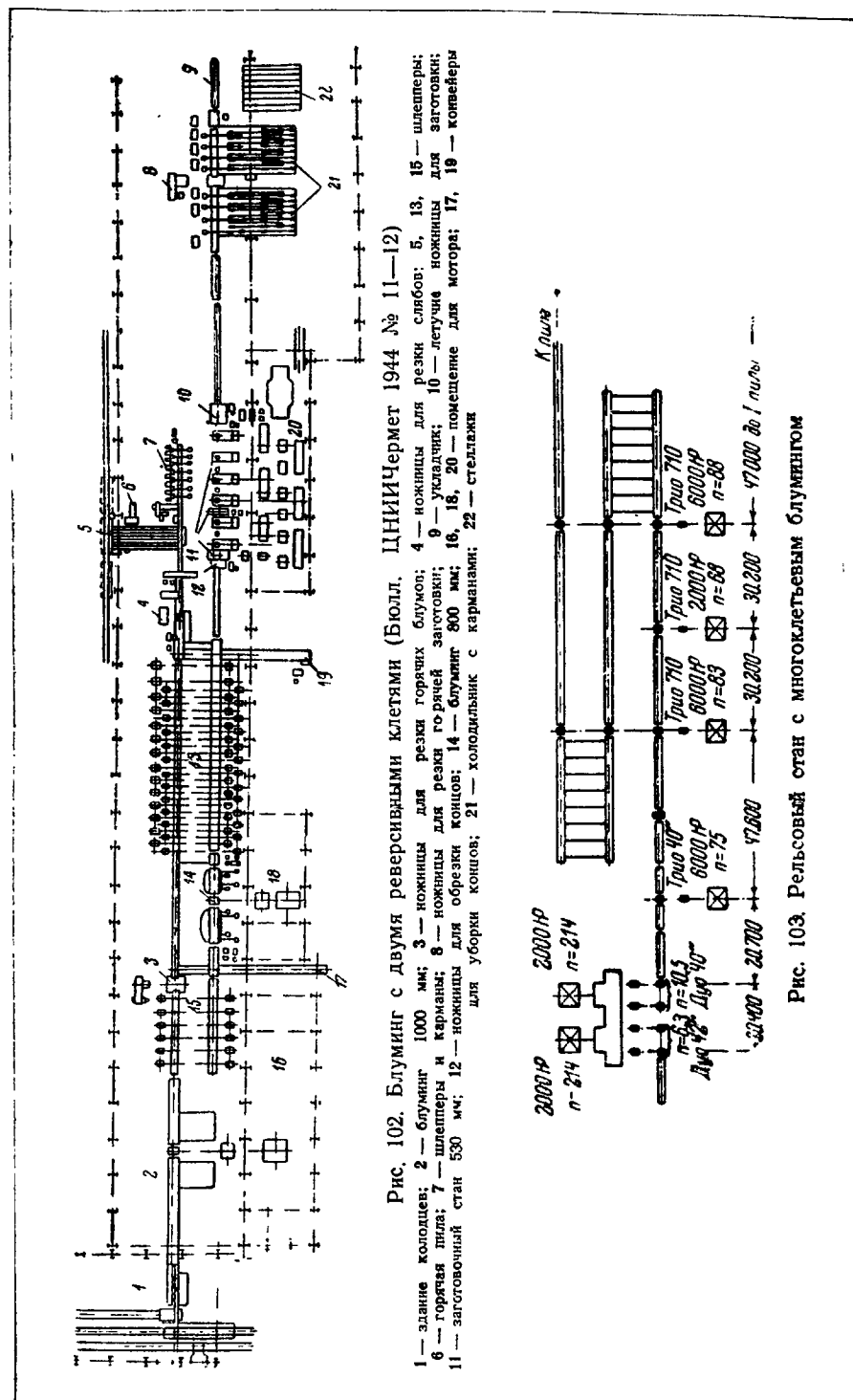


Рис. 102. Блуминг с двумя реверсивными клетями (Бюлл. ЦНИИЧермет 1944 № 11—12)

1 — здание колодцев; 2 — блуминг 1000 мм; 3 — ножницы для резки горячих блюмов; 4 — ножницы для резки слэбов; 5, 13, 15 — шлепперы; 6 — горячая пила; 7 — шлеппер; 8 — ножницы для резки горячей заготовки; 9 — укладчик; 10 — летучие ножницы для заготовки; 11 — заготовочный стан 530 мм; 12 — ножницы для обрезки концов; 14 — блуминг 800 мм; 16, 18, 20 — помещение для мотора; 17, 19 — конвейеры для уборки концов; 21 — холодильники с карманами; 22 — стеллажи

Рис. 103. Рельсовый стан с многоклетевым блумингом

трех клетях слиток сечением квадрат 603 мм прокатывается в ромбических калибрах, в клетке № 4 в ящичном (рис. 104). За четыре первых пропуска сечение слитка уменьшается до  $432 \times 357$  мм, что составляет около 40% от первоначального. После каждого

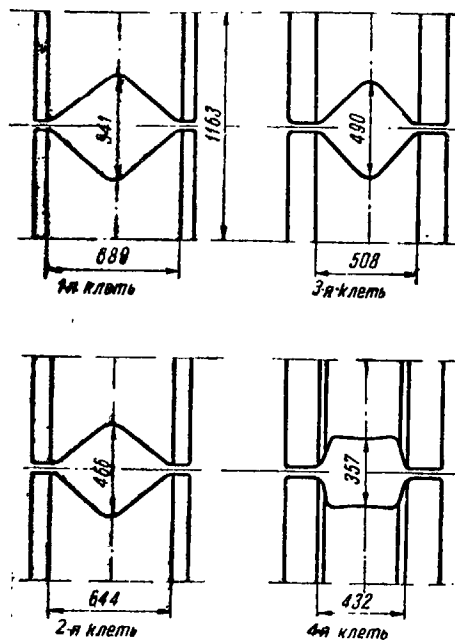


Рис. 104. Калибровка валков нереверсивного блюминга

пропуска слиток кантуется на  $90^\circ$  посредством роликов рольганга, имеющих соответствующие выступы и вырезы. На другом рельсовом стане схема прокатки на нереверсивном блюминге аналогична предыдущей, конструкция же стана отличается в части первых клетей дуо, которых здесь имеется две (рис. 105), расположенных на расстоянии 7,8 м. Слиток в этих клетях делает четыре пропуска в следующем порядке: вначале слиток проходит последовательно обе клетки (1 и 2-й пропуски), потом через поворотные столы и обводной рольганг поступает на переднюю сторону стана, затем проходит через второй ряд калибров (3 и 4-й пропуски).

Калибровка валков первых двух клетей показана на рис. 106. После каждого пропуска слиток кантуется таким же способом, как и в предыдущем стане. Число оборотов валков в минуту составляет всего 4—4,5, диаметр валков — 1245 мм. После 4-го пропуска слиток имеет сечение  $488 \times 394$  мм, которое затем в клетях трио 1015 мм за пять пропусков уменьшается до  $267 \times 267$  мм.

На одном заводе обжимная часть заготовочного стана состоит из 9 нереверсивных клетей дуо (рис. 107), в которых слиток делает по одному пропуску в ромбических калибрах (рис. 86). Число оборотов валков в минуту: клетки № 1 и 2—7,1, № 3 и 4—11,3, № 5 и 8—40,2, № 9—50,7.

Как видим, процесс прокатки на нереверсивных блюмингах имеет следующую основную характеристику:

1) программа прокатки и, следовательно, калибровка валков рассчитаны на постоянную и неизменную работу по выпуску одного сечения блюмов;

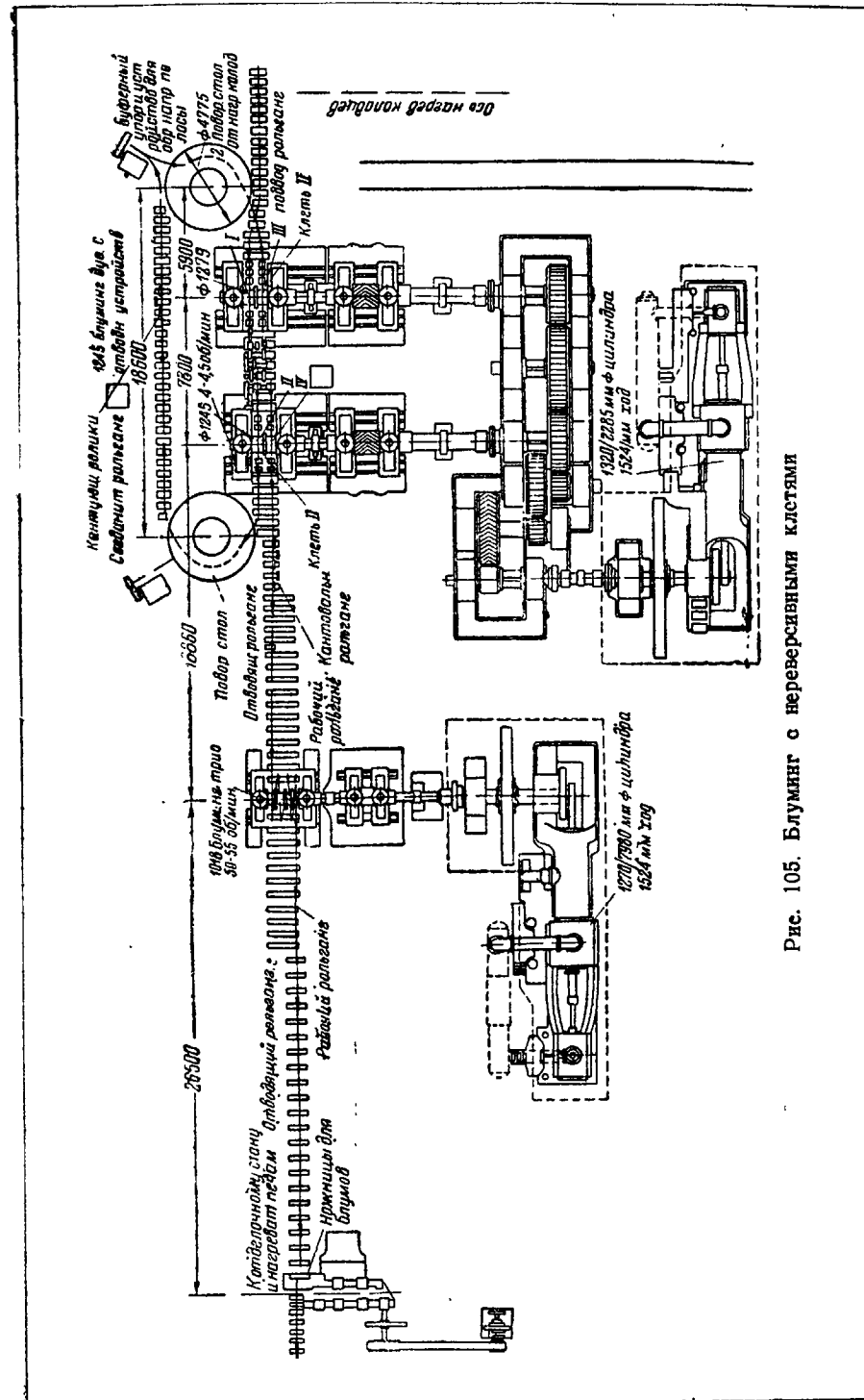
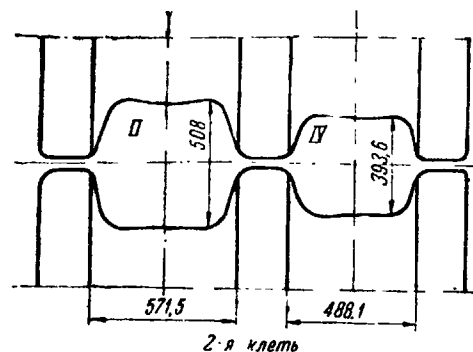


Рис. 105. Блуминг с нереверсивными клетями



2) обжатия в первых четырех пропусках, в которых сечение слитка уменьшается до 40—50% от первоначального, даются высокие, достигая 26% за пропуск;



3) в соответствии с такими высокими обжатиями в первых четырех пропусках скорости прокатки и, следовательно, скорости деформации берутся значительно ниже тех, которые имеют место в реверсивных блумингах;

4) в последующих пропусках скорость прокатки резко возрастает;

5) после каждого пропуска слиток кантуется на 90°;

6) слиток одновременно находится только в одной клетке, в связи с чем расстояние между клетками берется больше длины слитка, выходящего из валков;

7) прокатка слитков ведется в ящичных и в ромбических калибрах.

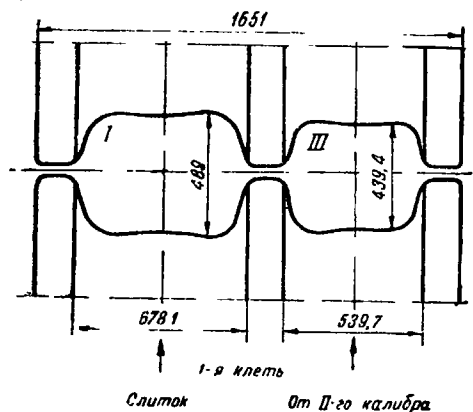


Рис. 106. Калибровка валков нереверсивного блуминга

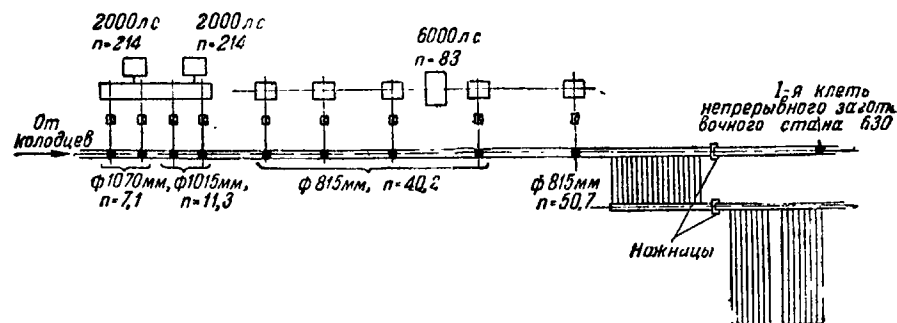


Рис. 107. Нереверсивный блуминг при заготовочном стане

## 11. Блуминги и обжимные станы трио

До конца прошлого века для обжима слитков часто применялись блуминги трио с валками диаметром до 1200 мм. Некоторое число таких блумингов сохранилось до настоящего времени. Они прокатывают слитки весом от 2,5 до 4 т за 7, 9 или 11 пропусков, выпуская блюмы сечением  $200 \times 200$  мм и выше. Обжатия здесь, как и в блумингах дуо нереверсивных, остаются постоянными, и, следовательно, программа предусматривает выпуск блюмов одних и тех же размеров. Небольшое число пропусков берется из-за ограниченной длины бочки валков, поэтому приходится прокатывать слитки с большими обжатиями и, следовательно, с высокими скоростями деформации. При таком небольшом числе пропусков блуминги трио имеют более высокую производительность, чем реверсивные дуо при том же весе слитка.

В настоящее время обжимные станы трио устанавливаются только для прокатки слитков сравнительно небольшого веса и при ограниченном масштабе производства. В отличие от реверсивных блумингов такие станы чаще всего называют обжимными станами трио. Они могут быть разбиты на две основные категории: 1) станы, в которых валки находятся в строго фиксированном положении, и 2) станы, в которых верхний и средний валки могут перемещаться в вертикальном направлении. В первом случае при наиболее часто применяемом диаметре валков 800 мм можно прокатывать слитки весом до 900—1000 кг, во втором случае вес слитка повышается до 2500 кг при том же диаметре валков. Вообще практически установлена такая зависимость между размерами прокатываемого слитка и диаметром валков:

для станов первой группы  $a = (0,40—0,45) D$ ;

для станов второй группы  $a = (0,60—0,65) D$ .

Здесь  $a$  — сторона квадрата большего сечения слитка,  $D$  — номинальный диаметр валков.

Следовательно, наибольший размер прокатываемых слитков при  $D = 800$  мм может быть равен:

$$a = 800 \times (0,40 \div 0,45) = 320 \div 360 \text{ мм};$$

во втором случае

$$a = 800 \times (0,60 \div 0,65) = 480 \div 520 \text{ мм}.$$

На основании указанной выше зависимости предварительно определяются наибольшие размеры слитков, которые можно прокатывать в валках данного диаметра, или, наоборот, требуемый диаметр валков для прокатки слитков заданных размеров.

На обжимных станах трио обычно работают с верхним давлением, т. е. диаметр верхнего валка делается больше диаметра среднего, а диаметр среднего — больше диаметра нижнего. На практике часто верхнее давление достигает значительной величины, что вредно отражается на качестве металла, так как соз-

дается растяжение между верхней и нижней поверхностями слитка. Секундное растяжение получается равным

$$E = \frac{\pi D_1 n}{60} - \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{\pi n}{60} (D_1 - D_2).$$

Если, например,  $n = 80$  и  $(D_1 - D_2) = 50$  мм, то  $E \approx 210$  мм. Разность  $(D_1 - D_2)$  должна быть минимальная. Практически, однако, редко можно свести ее к величине менее 5% от номинального диаметра валков.

Калибровка валков обжимных станов трио выполняется таким образом, что в первом нижнем и в первом верхнем калибрах слиток делает по два пропуска. Например, порядок прокатки слитка  $300 \times 300$  таков (табл. 19).

Таблица 19

№ пропуска	Калибр	Размеры слитка после пропуска	
		высота, мм	ширина, мм
1	1-й нижний . . . . .	260	305
2	1-й верхний . . . . .	220	310
3	1-й нижний . . . . .	260	225
4	1-й верхний . . . . .	220	230

Обжимные станы трио состоят из одной или двух клетей. В первом случае при валках диам. 800—850 мм можно прокатать заготовку наименьших размеров от  $120 \times 120$  до  $140 \times 140$  мм. Для получения заготовок меньших сечений необходимо иметь две клетки.

Обжимные станы трио часто применяются для прокатки слитков качественных сталей при сравнительно небольшом объеме производства.

Слитки для обжимных станов трио нагреваются в методических или камерных печах.

## ГЛАВА 4

### ПРОКАТКА ЗАГОТОВКИ

Заготовка как материал для прокатки сортового металла, тонких листов и ленты в большинстве случаев производится на специальных заготовочных станах. Квадратная заготовка изготавливается размерами от  $38 \times 38$  до  $150 \times 150$  мм. Заготовки сечением меньше  $38 \times 38$  мм трудно получить из крупного слитка с одного нагрева; заготовки размерами больше  $150 \times 150$  мм обычно выкачиваются на блюминге (блумы).

Плоская заготовка (сутунка) прокатывается шириной от 150 до 600 мм при толщине от 6 до 75 мм. В некоторых случаях на заготовочных станах (непрерывных) прокатывается заготовка для сварных труб.

Сортовая заготовка и сутунка прокатываются на станах непрерывных, трио и дуо реверсивных. Выбор того или иного типа заготовочного стана решается в зависимости, главным образом, от потребной производительности.

В СССР большую часть заготовки прокатывают на непрерывных станах, которые и для дальнейших установок приняты как основные заготовочные агрегаты.

Во всех случаях проводится основной принцип — вести прокатку заготовок из слитка с одного нагрева, так как введение промежуточного нагрева экономически невыгодно.

#### 1. Прокатка заготовки на непрерывных заготовочных станах

Схема расположения, число групп и клетей. При своем появлении (1894 г.) непрерывные заготовочные станы состояли из 8—12 клетей, расположенных последовательно в виде одной группы, с приводом от одного продольного вала через конические шестерни. Но трудность настройки такого большого числа связанных клетей заставила разделить их на две группы. Поэтому в дальнейшем начали строить непрерывные заготовочные станы в составе двух групп по 6 клетей в каждой. Эта схема наиболее распространена и в настоящее время считается стандартной (рис. 108, а). Исходным материалом для получения заготовок всех размеров в этой схеме являются блюмы от  $200 \times 200$  до  $260 \times 260$  мм.

Другая схема имеет в первой группе только 4 клетки (рис. 108, б). В соответствии с этим размеры исходных блюмов здесь будут меньше, колеблясь от  $190 \times 190$  мм для больших размеров заготовок, до  $165 \times 165$  мм для меньших.

При малых масштабах производства применяется схема, в составе которой имеется одна группа, состоящая из 6 или 8 клеток с горизонтальными валками. Размеры исходного блюма — от  $160 \times 160$  до  $105 \times 105$  мм. Непрерывный заготовочный стан мо-

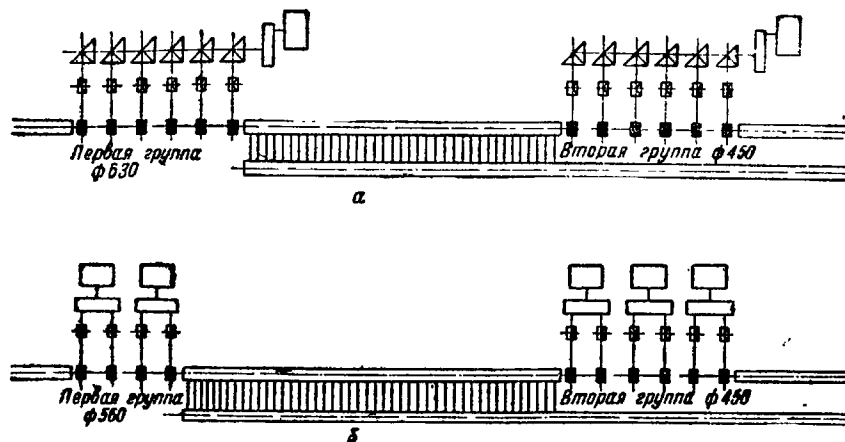


Рис. 108. Схема расположения непрерывных заготовочных станов

жет состоять из одной группы в 6 клеток также в тех случаях, когда прокатывается только крупная заготовка.

Размеры валков. В наиболее распространенной схеме с двумя группами по 6 клеток валки имеют размеры:

при исходном блюме  $200 \times 200$  мм: первая группа — диам. 630 мм, длина 1200—1400 мм; вторая группа — диам. 450 или 485 мм, длина 510—850 мм;

при исходном блюме  $260 \times 260$  мм: первая группа — диам. 720—800 мм, длина 1500 мм; вторая группа — диам. 530 мм, длина 1000 мм.

При четырех клетях в первой группе диаметр валков берется равным 530—560 мм.

Размеры валков в клетях первой группы часто берут дифференцированными, например:

Клетки 1 и 2	Последующие клетки
685 мм	560 мм
660 "	485 "
560 "	450 "

Калибровка валков. Основные положения калибровки валков непрерывных станов исходят из условия постоянства объема металла, проходящего через каждую клетку в единицу времени, т. е.

$$V_1 = V_2 = \text{const.}$$

Так как  
то

$$\begin{aligned} V &= Fv, \\ Fv &= \text{const.} \end{aligned} \quad (51)$$

Если это условие не соблюдается, то процесс непрерывной прокатки нарушается. Если, например,  $F_1v_1 > F_2v_2$ , т. е. вторая клетка не успевает принимать весь металл, подаваемый первой клетью, то неизбежно образуется петля (рис. 109), что при большом се-

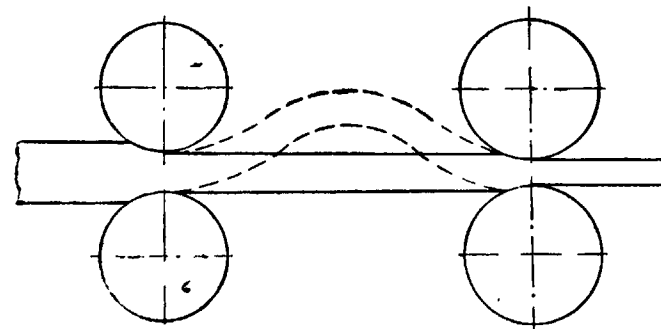


Рис. 109. Образование петли между клетями непрерывного става

чении полосы может привести к авариям. Во избежание этого прокатку необходимо прекратить. Если же  $F_1v_1 < F_2v_2$  и, следовательно, первая клетка не успевает подавать необходимое количество металла для второй клетки, может образоваться сильное натяжение полосы с уменьшением сечения ее, что отразится на правильности размеров заготовки. Поэтому практически в непрерывных заготовочных станах прокатка идет обычно с небольшим натяжением, величина которого определяется коэффициентом 1,01—1,03. Этот коэффициент учитывает и опережение.

Применяя закон непрерывной прокатки к каждой клетке, можно написать следующую формулу:

$$F_1D_1n_1 = F_2D_2n_2 = \dots = F_nD_nn_n. \quad (52)$$

В эту формулу необходимо ввести коэффициент  $S$ , учитывающий натяжение и опережение в процентах. Если этот коэффициент принять одинаковым для всех клеток, то можно, очевидно, написать:

$$\begin{aligned} F_1D_1n_1(1+S)^{n-1} &= F_2D_2n_2(1+S)^{n-2} = \dots = \\ &= F_{n-1}D_{n-1}n_{n-1}(1+S) = F_nD_nn_n. \end{aligned} \quad (53)$$

Этой формулой можно пользоваться в двух следующих практических случаях:

1. При проектировании нового стана задаются величинами  $F_n$ ,  $D_n$  и  $n_n$  для конечного профиля и произведение  $F_n D_n n_n$  принимают как общую константу  $FDn$ . Переходя последовательно к каждой из последующих клеток, берут из калибровки валков значения  $F$  и  $D$  и определяют  $n$ , которое, очевидно, должно быть равно:

$$n_{n-1} = \frac{F_n D_n n_n}{F_{n-1} D_{n-1}} \cdot \frac{1}{1+S},$$

$$n_{n-2} = \frac{F_{n-1} D_{n-1} n_{n-1}}{F_{n-2} D_{n-2}} \cdot \frac{1}{1+S},$$

.....

$$n_2 = \frac{F_3 D_3 n_3}{F_2 D_2} \cdot \frac{1}{1+S},$$

$$n_1 = \frac{F_2 D_2 n_2}{F_1 D_1} \cdot \frac{1}{1+S}.$$

2. При изменении калибровки валков существующего стана с жесткой кинематической связью числа оборотов валков каждой клетки остаются неизменными. Поэтому расчет сводится к определению произведения  $FDn$  в таком порядке: задаются размерами  $F_n$ ,  $D_n$  и определяют общую константу  $FDn$ , а из нее уже вычисляют произведение  $FD$  для каждой клетки:

$$F_{n-1} D_{n-1} = \frac{F_n D_n n_n}{n_{n-1} (1+S)},$$

$$F_{n-2} D_{n-2} = \frac{F_{n-1} D_{n-1} n_{n-1}}{n_{n-2} (1+S)},$$

.....

$$F_2 D_2 = \frac{F_3 D_3 n_3}{n_2 (1+S)},$$

$$F_1 D_1 = \frac{F_2 D_2 n_2}{n_1 (1+S)}.$$

На рис. 110 показана схема калибровки валков непрерывного заготовочного стана 630—450. В валках первой группы (диам. 630 мм) имеется три ряда калибров. В первом ряду прокатывается заготовка  $150 \times 150$  мм, которая выходит из второй клетки, проходя остальные вхолостую. В третьем ряду прокатывается заготовка  $125 \times 125$  мм, выпускаемая из четвертой клетки. Средний ряд калибров (второй) служит для выпуска заготовки  $100 \times 100$  мм, которая является исходным материалом для прокатки на стане 450 заготовок размерами 38, 45, 50, 60, 65 и 75 мм.

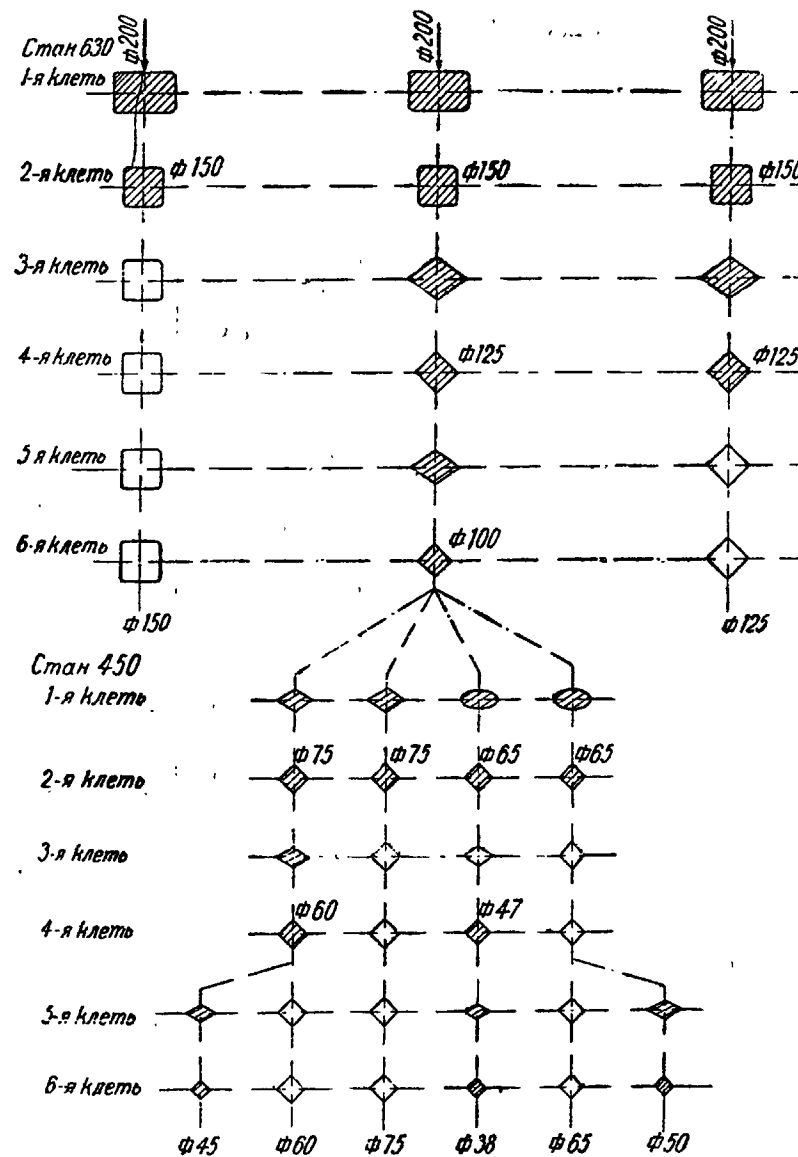


Рис. 110. Схема калибровки валков непрерывного заготовочного стана 630—450

В табл. 20 приведены данные калибровки валков непрерывного стана 700—480 мм для прокатки заготовок  $125 \times 125$  мм и  $55 \times 55$  мм из блюмов  $250 \times 250$  мм. Кроме того, из промежуточных клетей выпускаются еще заготовки следующих размеров:

из 4-й клетки первой группы . . . . .  $150 \times 150$  мм  
 , 2-й , второй , . . . . .  $100 \times 100$  ,  
 , 4-й , , . . . . .  $75 \times 75$  ,

Таблица 20

№ клетки	Форма калибра	Размеры калибра		Объем, мм	Площадь поперечного сечения см²	Коэффициент вытяжки	Рабочий радиус вала, мм
		высота мм	ширина мм				
Стан 700							
1	Прямоугольник . . .	180	270	70	486	1,286	260
2	„ . . .	200	200	70	400	1,215	250
3	„ . . .	135	220	65	297	1,347	282,5
4	„ . . .	150	150	70	225	1,320	275
5	„ . . .	115	160	35	184	1,223	292,5
6	„ . . .	125	125	35	156	1,177	287,5
Стан 480							
1	Прямоугольник . . .	95	135	30	128	1,218	192,5
2	„ . . .	100	100	35	100	1,282	190
3	Ромб . . . . .	95	150	23	71	1,409	216
4	Квадрат 75 . . . . .	106	106	22	56	1,268	213,5
5	Ромб . . . . .	70	115	18	40	1,400	222,5
6	Квадрат 55 . . . . .	77	77	19	30	1,333	220,5

Прокатка плоской заготовки. В современных непрерывных станах прокатка плоской заготовки производится на гладких валках. Для регулирования ширины и образования правильных кромок в станах, прокатывающих плоскую заготовку, имеются клетки с вертикальными валками. Обычно таких клетей устанавливается три, из них одна в первой группе и две во второй. Диаметр валков в этих клетях равен 450—550 мм, длина бочки 300 мм. Они приводятся от самостоятельных электромоторов мощностью 200—250 л. с. через конические шестерни.

Чистота поверхности сутунки имеет большое значение, поэтому принимаются меры для удаления окалины с поверхности во время прокатки путем подачи струи воды давлением 40—50 ат.

Большая часть непрерывных заготовочных станов представляется комбинированными заготовочно-сутуночными. В этом случае первая группа имеет средний ряд калибров для прокатки сутунки, а два боковых ряда служат для прокатки квадратных

заготовок, из которых один — для квадрата 100 мм как наиболее ходового.

В некоторых же случаях при одной группе 630 мм имеются две группы 450 мм, из которых одна предназначается для прокатки квадратной заготовки, другая — для сутунки. Эта последняя часто имеет восемь клетей с горизонтальными валками. При таком комплектовании станов исходят из тех соображений, чтобы во время перевалок валков сутуночной группы, где они вырабатываются сравнительно быстро, можно было вести прокатку квадратной заготовки в другой группе. На стане 630 калибровка валков, как было сказано выше, приспособлена для прокатки и заготовки и сутунки. Этот вопрос имеет существенное значение для непрерывных станов, где перевалка валков в большинстве случаев производится сразу во всех клетях, так как валки подбираются комплектно по диаметрам, исходя из условий калибровки.

Проводки. Конструкция проводок на непрерывных станах имеет большое значение, так как они здесь служат не только для правильного направления полосы в валки и из валков, но и для автоматической кантовки ее во время прокатки. На рис. 111 показана выводная проводка, состоящая из двух половин — верхней  $a$  и нижней  $b$ , образующих полость с прямоугольным сечением, размеры которого несколько превышают размеры выходящей полосы. Горизонтальная ось прямоугольника, параллельная оси валков у переднего конца, постепенно отклоняется, образуя у выходного конца проводки некоторый угол  $\alpha$  с начальным положением. Следовательно, полоса в проводках движется по винтовой линии и на длине проводки  $l$  поворачивается на угол  $\alpha$ . При дальнейшем движении передний конец полосы продолжает кантоваться за счет поворота в проводке последующих частей полосы. Угол  $\alpha$  связан функционально с расстоянием между двумя соседними клетями ( $L$ ), длиной проводки ( $l$ ) и углом  $\beta$ , на который надо повернуть полосу между клетями, соотношением:

$$\alpha = \beta \cdot \frac{l}{L}. \quad (54)$$

Угол  $\beta$  в большинстве случаев равен  $90^\circ$ ; его величина бывает меньше, например, при диагональной калибровке и при переходе из ящичного калибра в ромбический. На практике угол  $\alpha$  чаще всего находится в пределах  $14—18^\circ$ . Например, при  $\beta = 90^\circ$ ,  $l = 800$  мм и  $L = 4000$  мм

$$\alpha = 90 \cdot \frac{800}{4000} = 18^\circ.$$

Во время движения в проводках полоса производит значительное давление на их поверхности, в результате чего они вырабатываются, что вызывает образование дефектов на заготовках

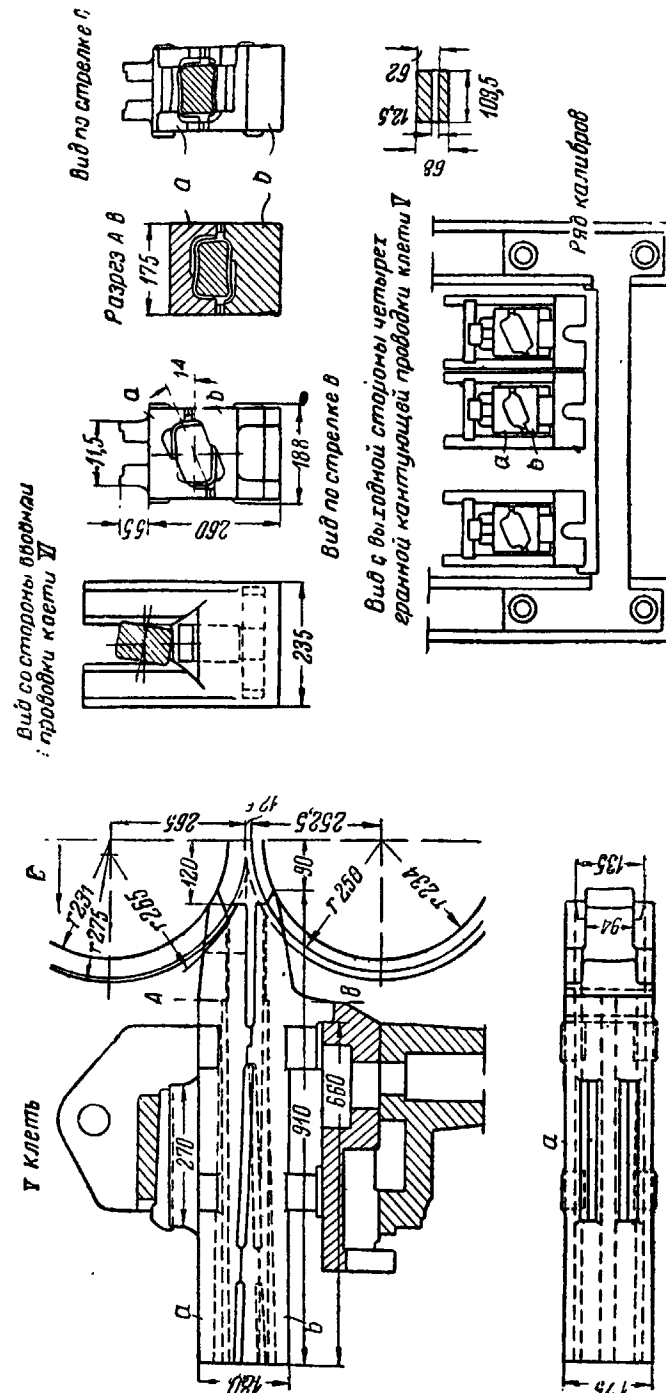


Рис. 111. Выводная проводка непрерывного заготовочного стана

в виде царапин. Кроме того, во время скручивания полоса испытывает значительное напряжение, которое может вызвать образование трещин. Поэтому в последнее время для борьбы с этими дефектами проводятся следующие мероприятия:

1. Для уменьшения угла скручивания заготовок калибры располагаются под некоторым углом к оси валков (так называемая «диагональная» калибровка) (рис. 112).

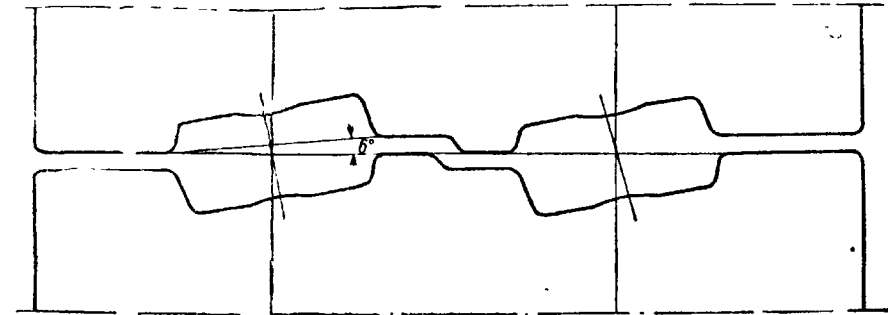


Рис. 112. Диагональная калибровка валков непрерывного заготовочного стана

2. Применяются роликовые проводки, в которых полоса скользит не по поверхности проводки, а по вращающимся роликам. Такая проводка показана на рис. 113.

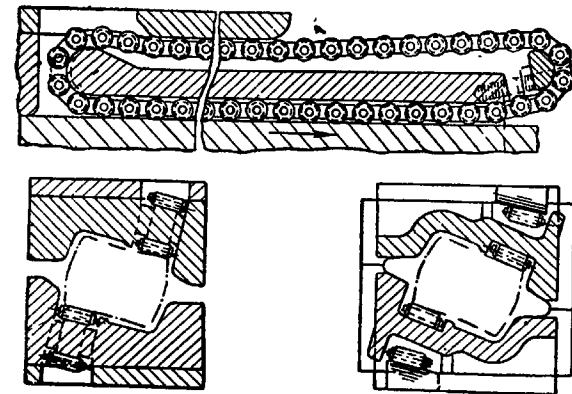


Рис. 113. Роликовая проводка непрерывного заготовочного стана

Петледержатели. При прокатке тонкой сутунки в последних клетях полоса становится гибкой и при неточном согласовании скоростей может получить значительное удлинение с обра-

зованием складки, которая пойдет в валки и вызовет аварию, так как обжатие сильно возрастет; поэтому здесь применяют механизмы для поддержания петли (рис. 114) — так называемые петледержатели, которые во время прокатки автоматически включаются от фотоэлементов.

Система привода, скорости прокатки. Энергия от моторов к клетям передается тремя способами: 1) посредством конических шестерен, 2) посредством цилиндрических шестерен и 3) индивидуально, с приводом каждой клетки от отдельного мотора. Первый способ передачи наиболее распространен, причем двигатель представляет собой мотор переменного тока без

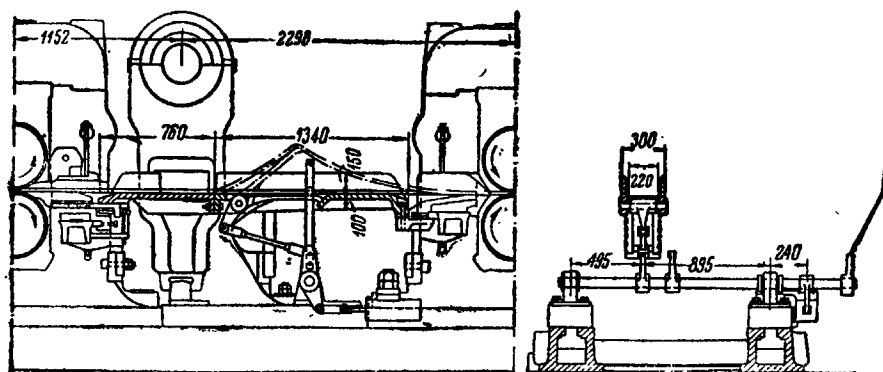


Рис. 114. Петледержатель

регулировки скоростей. При прокатке квадратной заготовки регулировки скоростей собственно и не требуется, так как прокатка с дифференцированными скоростями в разных клетях сама по себе регулирует скорости при выдаче заготовок разных размеров из разных клетей. Напротив, при прокатке сутунки необходимо иметь разные скорости, так как последняя клеть выпускает полосы разной ширины и разной толщины. Поэтому, если стан прокатывает сутунку, то привод валков во второй группе осуществляется с регулировкой скоростей прокатки. Это правило сохраняется и в станах с расположением клетей в одной группе.

Скорость прокатки в непрерывных станах является характерной величиной для последних, выпускных клетей. В первой группе скорость прокатки выбирается, главным образом, по соображениям, зависящим от производительности станов. Практически скорость прокатки для последней клетки этой группы находится в пределах 1,2—1,5 м/сек.

При таких скоростях производительность стана опережает производительность блуминга. Хотя по условиям процесса в клетях первой группы скорость прокатки могла бы быть повышена, но это не требуется.

Во второй группе скорость прокатки в последней клетки связывается с возможной скоростью резки на летучих ножницах, каковая в настоящее время не превышает 4,5 м/сек для наименьших размеров заготовок.

Схема производственного процесса на непрерывном заготовочном стане. Блум с обрезанными концами от ножниц блуминга по рольгангу подается к первой группе непрерывного заготовочного стана. Расстояние между первой клетью этого стана и ножницами блуминга берется из расчета размещения на нем не менее двух блюмов, получающихся из целого слитка. Так, например, сортовую заготовку часто прокатывают из слитков весом 4—5 т, обжимаемых на блумингах до сечения  $200 \times 200$  мм. При учете отходов, примерно 8% для слитков кипящей стали, вес блюма после ножниц будет равен 3680—4600 кг. Один метр блюма  $200 \times 200$  мм весит 306 кг. Следовательно, блум после ножниц будет иметь длину  $\sim 12$ —15 м. В соответствии с этим указанное расстояние берется в пределах 30—40 м для этих условий. Такое же расстояние требуется при прокатке заготовки из блюма  $250 \times 250$  мм, получаемого на блуминге из слитка весом 6—8 т.

По выходе из последней клетки первой группы металл может иметь два направления:

- 1) во вторую группу для дальнейшей прокатки заготовки и сутунки меньших размеров;
- 2) в сторону для порезки на ножницах, если требуется заготовка размеров, выпускаемых первой группой.

В последнем случае полоса, вышедшая из стана, шлепперами передается на так называемый обводной рольганг, который подает ее к ножницам для порезки. Полоса, выходящая из первой группы, имеет нормальную длину 50—60 м и общий вес:

Заготовка	Вес 1 м длины кг	Вес при $L=50$ м, кг	Вес при $L=60$ м, кг
$100 \times 100$ мм . . . . .	76	3800	4560
$125 \times 125$ . . . . .	118	5900	7080

При таких длинах полосы, выходящей из первой группы, расстояние между осями последней клетки этой группы и первой клетки второй группы берется в пределах 70—80 м (рис. 108).

Перед второй группой размещаются ножницы маятникового типа, которые служат для обрезки переднего конца полосы, если он оказывается дефектным, и для отсекаания части полосы, еще не вошедшей в стан, в случае неполадок, заставляющих немедленно прекратить прокатку.

Резка и уборка заготовки и сутунки. Прокатанные полосы, выходящие из первой группы, режутся на нормальные длины 4,5 м для заготовки и 10 м для сутунки на ножницах, по конструкции аналогичных тем, которые имеются на блюминге, т. е. с нижним и верхним резом. Мощность ножниц берется из расчета одновременной резки до 4—6 заготовок  $100 \times 100$  мм и соответственно меньшего количества более крупных заготовок. Так, например, на непрерывных заготовочных станах устанавливают ножницы 900 г, которые могут резать сечение до  $900 \text{ см}^2$ .

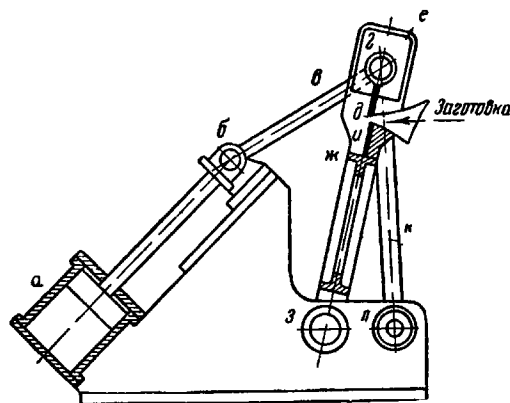


Рис. 115. Паровые летучие ножницы

Выходящая из второй группы полоса имеет значительную длину, достигающую 350 м. Ожидать, когда полоса целиком выйдет из стана и только после этого приступить к резке было бы нецелесообразно, во-первых, по условиям производственного характера, во-вторых, потому, что для этого потребовалось бы очень длинное здание. Поэтому резка заготовки и сутунки после второй группы осуществляется на ходу или налету, т. е. во время движения полосы, выходящей из стана. В соответствии с этим и ножницы, которые производят такую резку, называются «летучими».

Паровые летучие ножницы до последнего времени имеют почти исключительное применение для резки заготовки на непрерывных станах. Во всяком случае летучие ножницы с электрическим приводом пока не получили широкого распространения и насчитываются единицами.

Устройство паровых летучих ножниц показано на рис. 115. На раме укреплен паровой цилиндр *а*, поршень которого вместе со штоком соединен с крестовым *б*, а этот последний тягой *в* соединяется с осью *г*, к которой прикрепляется верхний нож *д*. Ось *г* связана с рамкой *е*, движущейся в направляющих, имеющих в литой раме *ж*, качающейся около оси *з*. В этой раме укреплен неподвижно нижний нож *и*. Кроме того, имеются еще два рычага *к*, вращающиеся вокруг осей *г* и *л*. При верхнем положении поршня ножи находятся в раздвинутом состоянии и, следовательно, движущаяся полоса может пройти между ними. Передний конец полосы, пройдя за ножницами определенное расстояние, ударяется о клапан, включающий автоматически посредством рычага золотник парового цилиндра, заставляющий двигаться поршень

вниз, а вместе с ним ось *г* и рамку *е*, как связанные рычагами *к* с осью *л*. Одновременно рама *ж*, вращаясь около оси *з*, наклоняется вперед. В результате этих движений оба ножа не только соединяются, чтобы произвести рез, но и движутся вместе с полосой. Когда поршень достигает нижнего положения, рез полосы заканчивается и поршень вновь возвращает всю систему в исходное положение. Отрезанная полоса уходит, а следующая за ней проходит между ножами при откинутом верхнем ноже. Скорость реза согласуется со скоростью стана.

Летучие ножницы описанной конструкции могут резать заготовки сечением от  $38 \times 38$  до  $125 \times 125$  мм, с наибольшей скоростью до 4,5 м/сек для малых сечений; нормальная длина заготовки — 9 м.

После резки заготовки поступают на рольганг с косо расположенными роликами (рис. 97). На них полоса движется перпендикулярно оси роликов и прижимается к внешнему борту, следующая полоса ложится рядом с первой и т. д. Таким путем образуется пачка, которая потом шлеперами сдвигается на холодильник. В конце холодильника заготовки снимаются кранами и убираются на склад.

Расположение непрерывных станов. Большая часть непрерывных заготовочных станов располагается в две группы, реже встречаются станы с расположением клетей в одной группе.

На рис. 97 показано расположение непрерывного заготовочного стана 700—480. Он включает две группы: первую в составе шести клетей с валками  $\varnothing 700 \times 1400$  мм и вторую с шестью клетями, имеющими валки  $\varnothing 480 \times 850$  мм. Расстояние между линиями 76 м.

Каждая группа имеет приводной мотор переменного тока 5000 л. с.,  $n = 250$  об/мин; передача от моторов к главным соединительным валам — через редукторы, а от этих последних к клетям — посредством конических шестерен. На стане 700 главный соединительный вал разрезан на две части, соединенные редуктором для понижения числа оборотов.

Число оборотов валков в минуту:

Первая группа:		
1-я клеть	15,94	
2-я »	20,17	
3-я »	24,31	
4-я »	33,10	
5-я »	38,36	
6-я »	46,24	
Вторая группа:		
1-я клеть	38,70	
2-я »	50,77	
3-я »	62,78	
4-я »	80,96	
5-я »	109,02	
6-я »	142,86	



Номинальная скорость прокатки в последней клетке стана 700 равна 1,70 м/сек, стана 480—3,6 м/сек.

Для уборки и резки заготовок после стана 700 имеются шлеперы, которыми полоса сдается на обводной рольганг, подающий ее к ножницам  $300 \times 300$  мм. После резки заготовки длиной 4,5 м на косом рольганге собираются в пачки и передаются на четыре шлеперных холодильника.

По выходе из стана 480 полоса режется летучими ножницами на заготовки длиной 9 м, которые собираются на шлеперных холодильниках.

Обе группы станов расположены в здании с пролетом 27 м, общем с блюмингом.

На рис. 102 показана схема расположения непрерывного заготовочного стана 530 мм для прокатки заготовки и сутунки. Стан расположен на расстоянии около 68,5 м от реверсивной клетки 815 мм, которая питает его заготовкой.

Стан состоит из 6 клеток с горизонтальными и двух с вертикальными вальками, характеристика которых дается в табл. 21.

Для прокатки сутунки и заготовки имеются отдельные комплекты клеток. Заготовочные станины — открытого типа, сутуночные — закрытого, проводки — роликового типа, вкладыши — текстолитовые. Между клетями имеются петлеобразователи. Окалина удаляется водой высокого давления.

Таблица 21

Клетки	Диаметр валков, мм	Длина бочки, мм		Мощность моторов, л. с.	Число оборотов валков в мин.
		для заготовки	для сутунки		
Клеть № 1 а . . . . .	450	—	255	200	11/33
» № 1 . . . . .	530	815	610	1500	18/36
» № 2 . . . . .	530	815	610	1500	24/48
» № 2 а . . . . .	450	—	255	200	22/66
» № 3 . . . . .	530	815	610	2000	33/66
» № 4 . . . . .	530	815	610	2000	43/86
» № 5 . . . . .	530	815	610	2000	56/112
» № 6 . . . . .	530	815	610	2000	70/140

Примечание. Клетки № 1а и № 2а имеют вертикальные валки

Перед клетью № 1 находятся ножницы с режущей способностью до  $180 \times 180$  мм, с приводом от мотора 50 л. с. За последней клетью установлены электрические летучие ножницы, которые могут резать заготовку до  $102 \times 102$  мм и сутунку до  $610 \times 16$  мм длиной от 3,65 до 11 м при скорости от 1,13 до 3,96 м/сек. От летучих ножниц отрезанные заготовки поступают на косой рольганг и дальше на холодильник, состоящий из двух секций, между которыми расположены заготовочные ножницы с верхним и нижним резом, могущие резать заготовки до  $225 \times 225$  мм.

Стан прокатывает квадратную заготовку от  $98 \times 98$  до  $38 \times 38$  мм и сутунку шириной 305—530 мм при толщине от 8 до 25 мм. В соответствии с такой программой стан питается заготовками размерами от  $105 \times 105$  до  $127 \times 127$  мм и слябами различных размеров.

Производительность непрерывных заготовочных станов. В табл. 22 приведен расчет времени, необходимого для прокатки заготовки  $125 \times 125$  мм на стане 700

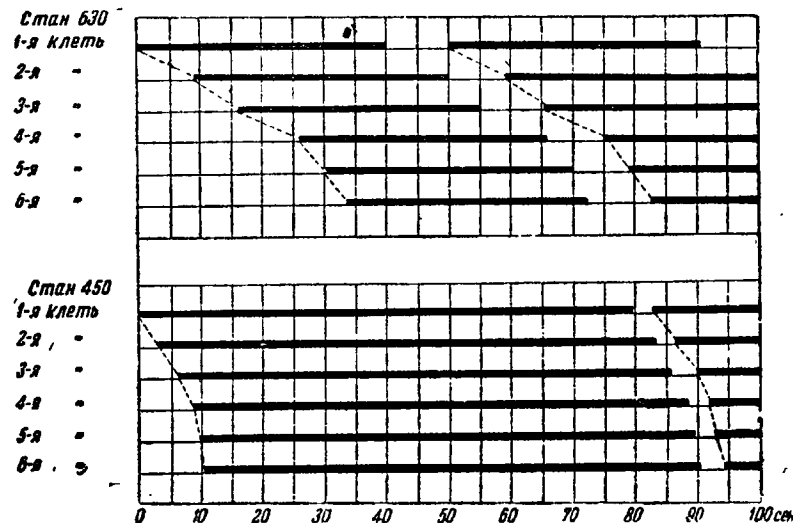


Рис. 116. График прокатки на непрерывном заготовочном стане

и заготовки  $55 \times 55$  мм на стане 480, схема калибровки которых приведена в табл. 20. Длина полосы после каждого пропуска рассчитана с учетом веса слитка 7 т при выходе годного 92%.

График прокатки показан на рис. 116.

Технически возможную производительность станов на основании предыдущего (стр. 39) получим при ритме прокатки, равном сумме машинного времени в первой клетке и паузы после нее. Это соответствует такому положению, когда передний конец последующей полосы входит в первую клетку, а задний предыдущей выходит из второй клетки. На основании табл. 22 имеем часовую технически возможную производительность каждого стана:

Стан 700:

$$A = \frac{3600 \times 7000 \times 0,92}{39,2 + 9,6} = 477 \text{ т.}$$

Стан 480:

$$A = \frac{3600 \times 7000 \times 0,92}{82,3 + 3,5} = 270 \text{ т.}$$

Таблица 22

№ клетки	Длина полосы после прокатки, м	Скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек.	Паузы, сек.
<b>Стан 700</b>				
1	17,0	0,434	39,2	9,6
2	20,6	0,528	39,0	6,4
3	27,8	0,719	38,7	10,5
4	36,7	0,953	38,5	3,9
5	44,9	1,175	38,2	3,0
6	52,9	1,392	38,0	—
<b>Стан 480</b>				
1	64,5	0,780	82,3	3,5
2	82,6	1,010	82,0	3,2
3	116,3	1,420	81,8	1,9
4	147,4	1,810	81,5	1,4
5	206,4	2,543	81,2	1,1
6	275,2	3,300	80,9	—

Эти цифры показывают, что стан 480 дает производительность, близкую к производительности блюминга, а стан 700 значительно (на ~65%) превышает эту последнюю. Так как каждый последующий стан в этом тройном звене (блюминг — стан 700 — стан 480) имеет больше простоев, чем предыдущий, практическая производительность стана 480 будет ниже производительности стана 700, а этот последний имеет производительность ниже производительности блюминга. Производительность всего комплекса определяется пропускной способностью блюминга. Мощность стана 700, как видим, не используется.

При прокатке сутунки и более мелкой заготовки (до  $38 \times 38$  мм) производительность стана 480 значительно (в полтора-два раза) понижается по сравнению с той, которую может дать блюминг.

Фактическая производительность стана 480 зависит главным образом от потребности мелкосортных станков в заготовке сечением меньше  $100 \times 100$  мм.

## 2. Прокатка заготовки и сутунки на станах трио и реверсивных дуо

Часть сортовой заготовки и сутунки прокатывается на станах трио и реверсивных дуо. В большинстве случаев для этой цели используются обычные рельсобалочные станы, в которых выделяется одна клеть специально для прокатки заготовки (см. рис. 133). Наименьший размер последней достигает  $50 \times 50$  мм, но чаще он бывает больше, так как прокатка таких малых сечений связана с низкой производительностью.

На рис. 117 показана калибровка валков дуо реверсивной клетки 800 для получения квадратной заготовки сечением  $102 \times 102$ ;  $82,5 \times 82,5$  и  $63,5 \times 63,5$  мм, а в табл. 23 приведены характеризующие ее данные. Длина полосы после каждого пропуска

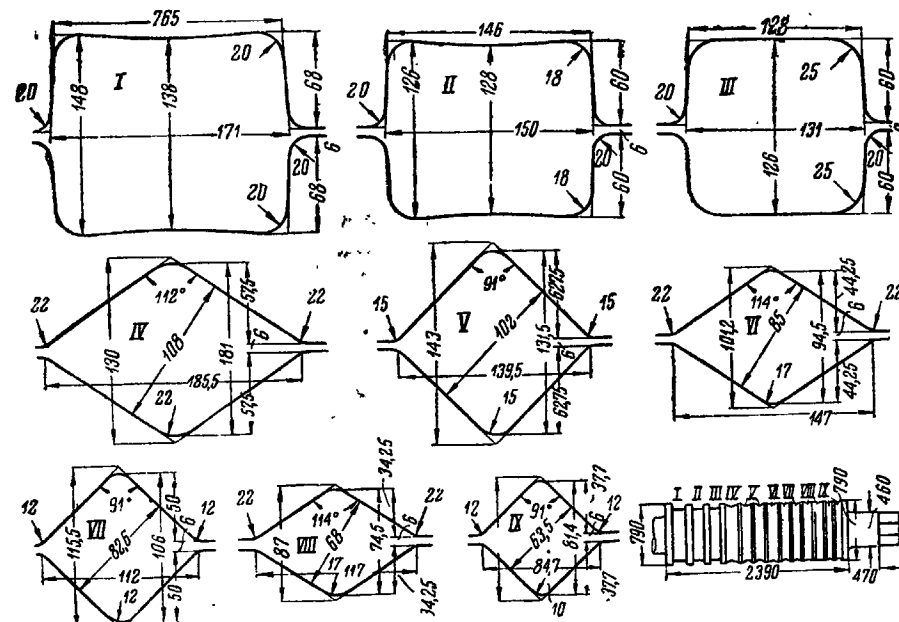


Рис. 117. Калибровка валков дуо-реверсивного стана для заготовок

определена из расчета веса слитка 4 т. Часовая технически возможная производительность стана (по заданному в стан металлу) получается равной:

$$A = \frac{3600 \times 4000 \times 0,92}{150} = 88 \text{ т.}$$

При других размерах часовая производительность получается значительно выше:

по заготовке  $82,5 \times 82,5$ :

$$A = \frac{3600 \times 4000 \times 0,92}{103} = 128 \text{ т.}$$

по заготовке  $102 \times 102$  мм:

$$A = \frac{3600 \times 4000 \times 0,92}{65,5} = 202 \text{ т.}$$

Таблица 23

№ калибров	Форма калибров	Размеры калибров	Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина толосы после проката, м	Скорость проката, м/сек	Время на прокатку, сек.	Пауза, сек.
0	—	180×160	282	—	16,7	—	—	—
1	Ящичный . . . .	138×165	232,8	1,213	20,3	3,0	6,8	5,0
2	То же . . . . .	145×122	182,0	1,278	26,0	3,5	7,4	5,0
3	„ . . . . .	122×126	158,2	1,150	30,0	4,0	7,5	5,0
4	Ромбический . . .	185×130	125,0	1,264	37,8	4,0	9,5	5,0
5	Квадратный . . .	102×102	102,5	1,215	45,9	4,5	10,0	5,0
6	Ромбический . . .	147×101	78,2	1,315	60,4	4,5	13,4	5,0
7	Квадратный . . .	82,5×82,5	66,9	1,168	70,5	5,0	14,1	5,0
8	Ромбический . . .	117×81	50,3	1,330	94,0	5,5	17,1	5,0
9	Квадратный . . .	63,5×63,5	39,8	1,262	118,0	6,0	19,7	5,0
				Сумма	—	—	105,5	45,0

Для прокатки заготовок из блюмов 180×160 мм валки диам. 800 мм велики и могут оправдываться только использованием имеющейся свободной мощности рельсобалочного стана. Вообще же говоря, при отсутствии этого фактора для прокатки заготовок указанных размеров из блюмов 180×160 мм целесообразнее иметь две клетки трио с валками 550—600 мм, так как при этом улучшается процесс прокатки и увеличивается производительность стана.

## ГЛАВА 5

## ДЕФЕКТЫ ПОЛУПРОДУКТА И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

## 1. Характеристика дефектов полупродукта

Большая часть блюмов, слябов и заготовок, поступающих после прокатки на склад, имеет те или иные дефекты, которые возникают в различных стадиях производства на металлургическом заводе. Эти дефекты могут быть вызваны двумя причинами: 1) неудовлетворительным качеством исходных материалов и 2) неправильностями в технологическом процессе.

Часто возникновение дефектов металла, выявляющихся в прокатном цехе, вызывается причинами, относящимися к более ранним стадиям производства на металлургическом заводе. Например, плохое качество угля, содержащего много серы, служит причиной получения кокса, а затем чугуна и стали с высоким содержанием серы. Подобное же положение может иметь место и при нарушении правильности технологического процесса во всех звеньях производства, предшествующих прокатке. В конечном итоге часть слитков поступает в прокатный цех с теми или иными пороками. Кроме того, в самом прокатном цехе также возникает ряд дефектов.

В зависимости от места появления все дефекты делятся на две основные категории: 1) дефекты по вине металла и 2) дефекты прокатного производства.

Дефекты по вине металла. Выше (стр. 54) мы уже говорили о пороках слитков, которые могут быть сведены к следующим: 1) глубокая усадочная раковина и рыхлость, 2) ликвация, 3) трещины как следствие неправильной разливки и неудовлетворительного состояния изложниц, 4) плёны, 5) газовые пузыри, 6) «рослые» слитки, 7) неметаллические включения.

При современном состоянии техники сталеплавильного производства полное устранение этих дефектов невозможно; речь может идти лишь о сокращении их относительных размеров. В этом отношении можно добиться значительных результатов.

Хотя перечисленные дефекты получают в процессе сталеплавильного производства и меры по сокращению их в первую очередь должны приниматься в сталеплавильных цехах, однако, от прокатного цеха в значительной степени зависит «спасение» слитков, которые получились с теми или иными дефектами. Мы

уже говорили выше о влиянии режима нагрева и прокатки на качество металла. Применяя дифференцированные режимы обработки для слитков разного качества, можно ту или иную часть слитков, имеющую заведомые дефекты, прокатать вполне удовлетворительно. Например, нельзя одинаково нагревать и обжимать слитки кипящей стали с разной глубиной залегания газовых пузырей. Если слиток имеет неглубокие газовые пузыри, то необходимо избегать образования толстого слоя окалины, способствующего утонению наружной корки и обнажению пузырей при прокатке, когда корка легко может лопнуть. Обжимать такие слитки следует осторожно, иначе неизбежны разрывы тонкой корки.

Большую роль в назначении правильного режима обработки слитков при прокатке играет четкая связь между сталеплавильным и прокатным цехами. Необходимо по возможности быстрее сообщать прокатному цеху полную характеристику каждой плавки. Эта характеристика должна включать не только данные о химическом составе, как обычно принято на заводах, но еще и дополнительные данные, касающиеся подготовки изложниц, разливки и пр. Такая характеристика необходима для того, чтобы сварщик на колюдцах знал, как надо нагревать слитки, а оператор на блюминге — как обжимать их.

**Дефекты прокатного производства.** Дефекты прокатного производства можно разбить на три основные категории, соответствующие трем стадиям производства: нагреву, прокатке и отделке. При производстве полупродукта в отделку входят резка с относящимися к ней другими операциями и охлаждение.

**Дефекты от нагрева** получаются прежде всего в тех случаях, когда слиток находится в колюде дольше, чем требуется по графику. В таких случаях слиток можно перегреть или даже пережечь, если он долго находится в колюде с высокой температурой. При прокатке на поверхности таких слитков образуются рванины или даже слиток разваливается (при пережоге). Если слиток в течение длительного времени находится в колюде с температурой, близкой к температуре нагрева, то перегрева может не быть, но слиток будет иметь толстый слой окалины, вследствие чего при неглубоком залегании могут обнажиться газовые пузыри. Более часто встречается на практике случай неравномерного нагрева слитков. Он указывает на то, что слиток нагревался с большей скоростью, чем предусмотрено графиком. В таких случаях отдельные части слитка при прокатке вытягиваются неравномерно, что приводит к образованию трещин и рванин, которые в слитках крепкой стали иногда достигают настолько значительных размеров, что проходят поперек на всю его толщину (так называемые «скворечники»). Кроме того, неравномерный нагрев влечет за собой свертывание слитка при прокатке в валках, вследствие разной вытяжки отдельных

его частей. Неравномерность нагрева часто связывается с недостаточной выдержкой слитка в периоде томления. При этом центральная часть слитка остается не прогретой и при прокатке вытягивается хуже периферийных частей, что приводит, во-первых, к образованию трещин, во-вторых, к большей потере металла при обрезке концов.

В процессе прокатки дефекты получаются по двум главным причинам: из-за преувеличенного обжатия и вследствие неправильной калибровки валков. О влиянии величины обжатия и калибровки валков при прокатке на реверсивном блюминге уже достаточно было сказано выше. По указанным причинам получаются трещины и заусенцы на прокатанных блюмах, причем эти последние имеют вид широких полос (так называемых «лампасов») (рис. 118).

Помимо этих двух основных дефектов, при прокатке на блюминге встречаются еще следующие:

1) плена от насечек валков, из-за чего в последнее время стремятся вести прокатку в валках без насечек; при прокатке качественных сталей последнее условие обязательно;

2) плена при срезании одной боковой поверхности слитка, если ширина его несколько превышает ширину калибра; это нередко имеет место в первом калибре валков с калибровкой, при которой стремятся избежать свободного уширения;

3) косые блюмы, получающиеся в результате плохого нагрева слитка и сильной выработки калибров, вследствие чего бока слитка плохо удерживаются стенками калибра и постепенно перекашиваются; прокатанная полоса на некоторой длине имеет сечение не прямоугольника, а параллелограмма, причем уклон боковых сторон к заднему концу увеличивается; в некоторых случаях перекося к заднему концу получается настолько значительным, что задний конец скручивается с образованием закатов и заусенцев (так называемые «рыбий хвосты»).

Кроме того, на блюминге, как и на других станах, могут получаться блюмы с отступлением от заданных размеров на величины, превышающие допуски. При резке и охлаждении полупродукта могут получаться следующие дефекты:

1) недостаточная обрезка концов, вследствие чего на блюмах, слябах и заготовках могут оставаться следы усадочной раковины, плены и рванины;

2) неправильный режим охлаждения высокоуглеродистых и легированных марок стали, что приводит к образованию внутренних напряжений и трещин в металле.

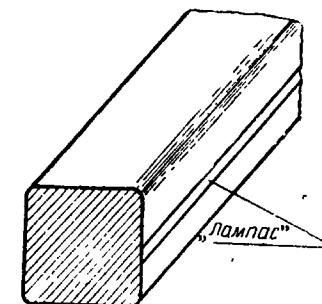


Рис. 118. Блум с «лампасом»

На заготовочных станах, помимо перечисленных выше недостатков, могут получаться еще царапины от проводок и трещины при скручивании полосы в геликоидальных проводках.

## 2. Зачистка полупродукта

Большую часть поверхностных дефектов на полупродуктах приходится удалять путем зачистки. Эта операция преследует цель — предупредить дальнейшее развитие дефектов при прокатке полупродукта в готовое изделие, что может привести к получению брака. Если, например, на заготовке образовалась небольшая трещина, то при прокатке готового продукта эта трещина может углубляться, и полученное изделие пойдет в брак. При зачистке заготовки трещина ликвидируется и, следовательно, готовое изделие получается чистым. Это же относится к пленам, закатам, заусенцам и пр.

Поверхностные дефекты выявляются путем осмотра. С этой целью в отдельных случаях поверхность блумов, слябов и заготовок подвергают травлению для выявления дефектов, которые простым осмотром обнаружить невозможно, так как они бывают покрыты окалиной.

Основными методами зачистки полупродукта являются: 1) вырубка пневматическими зубилами, 2) зачистка на фрезерных станках, 3) шлифовка кругами, 4) огневая зачистка.

Вырубка пневматическими зубилами. При вырубке необходимо выдерживать правильное соотношение между

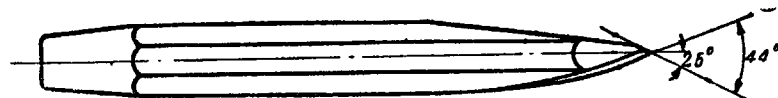


Рис. 119. Зубило для вырубki пороков

шириной и глубиной канавки. Края канавки должны быть сглажены, чтобы при последующей прокатке они не послужили причиной образования дефектов на поверхности проката. Обычно глубина вырубki принимается не больше 6—7% от толщины блума или заготовки, во всяком случае не больше 19 мм, причем ширина канавки должна быть равна четырехкратной глубине. В отдельных случаях допускается двукратная ширина.

Для пневматической вырубki применяются двух типов зубила: для глубокой вырубki — с небольшим радиусом резания и для широкой и неглубокой вырубki — с большим радиусом резания. Угол резания зубила (рис. 119) принимается одинаковым для сталей всех марок. На одном заводе было установлено, что при вырубке стали разных марок между режущей фаской и закруглением нижней части кончика зубила целесообразно иметь

угол в 44°. Режущая фаска образует с осью зубила угол в 25°. Установлено, что экономично пользоваться зубилами из легированной стали, прошедшими закалку с отпуском до твердости 55 по Шору или 43 по Роквеллу, шкала С.

При пневматической вырубке производительность человеко-часа колеблется в широких пределах для стали разных марок.

Для ориентировки могут служить цифры производительности трех заводов (табл. 24).

Таблица 24

Завод	Марка стали	Производительность вырубki т, чел.-час.
А	Главным образом легированная . . .	0,3
Б	Легированная и углеродистая . . .	0,7
В	Главным образом углеродистая . . .	1,2

Зачистка на фрезерных станках. Общий вид фрезерного станка для зачистки блумов и заготовок показан на рис. 120.

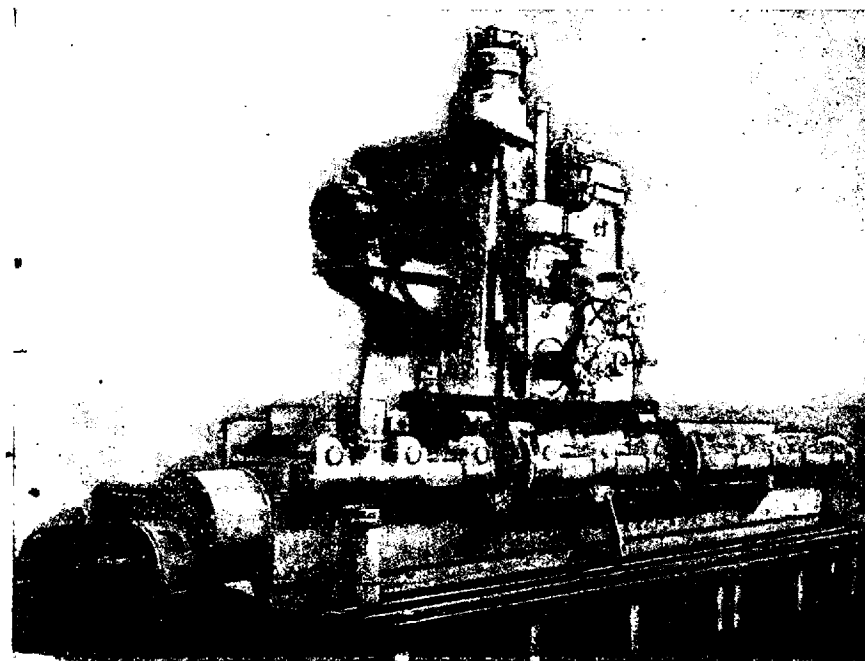


Рис. 120. Фрезерный станок для вырубki пороков

Головка этого станка с восемью резцами при 11 оборотах в минуту делает до 80 зарубок в минуту. Резцы изготавливаются из быстрорежущей стали и меняются через каждые 4 часа. Обычно применяется вырубка глубиной около 6,5 мм при ширине канавки 38 мм. Часто применяется сплошная обдирка всей поверхности. Производительность при зачистке на фрезерных станках в десять раз больше,

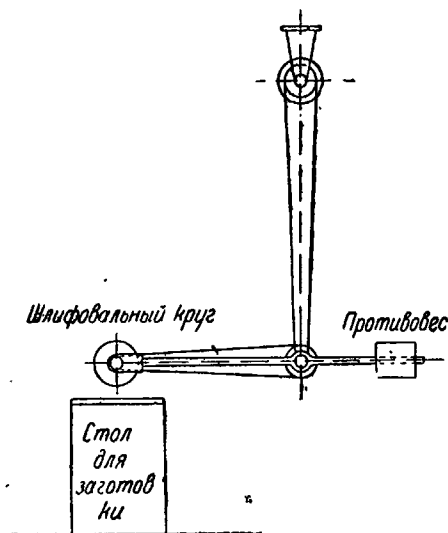


Рис. 121. Шлифовальный станок

чем при зачистке пневматическими зубилами, но для сглаживания поверхности необходима дополнительная зачистка этими последними.

Зачистка шлифовальными кругами. Такой метод применяется для зачистки заготовок легированных и высоколегированных сталей (быстрорежущих, хромоникелевых, нержавеющей, жароупорных и др.), когда приходится удалять мелкие пороки неглубокого залегания. Эти стали отличаются высокой твердостью и с трудом поддаются вырубке зубилом. В большинстве случаев для этого применяются станки с качающейся рамой (рис. 121), несущей круги диам. 350—500 мм и шириной 50—75 мм.

Для контрольной зачистки применяются переносные станки с кругами, диам. 150—200 мм. Обычно зачистка производится бакелитовыми кругами, вращающимися со скоростью 48 мм/сек, реже, — силикатными кругами со скоростью вращения около 28 мм/сек.

Огневая зачистка. До последнего времени наиболее распространенным методом зачистки полупродукта была вырубка ручными пневматическими зубилами. Это метод малопродуктивный и, следовательно, дорогой. Зачистка на фрезерных станках, хотя и повышает значительно производительность, но имеет недостаток, заключающийся в высокой стоимости оборудования.

Новейшим методом удаления поверхностных дефектов стали является огневая зачистка. Она применяется для снятия местных пороков и всего поверхностного слоя.

Сущность этого метода заключается в следующем. Сталь подогревается аппаратом, имеющим обычно шесть горелок (рис. 122). После разогрева струя чистого кислорода направляется сварщиком горизонтально, вдоль поверхности металла, и снимает дефектный слой.

Конструкция аппаратов для огневой зачистки весьма разнообразна. Имеются аппараты, которые передвигаются вручную во время зачистки, причем горелки располагаются в один ряд для

зачистки только одной стороны заготовки (рис. 123) или в два ряда (под прямым углом) для одновременной зачистки двух сторон (рис. 124). Часто зачистные машины монтируются на каретках,



Рис. 122. Ручной аппарат для огневой зачистки

зачистки только одной стороны заготовки (рис. 123) или в два ряда (под прямым углом) для одновременной зачистки двух сторон (рис. 124). Часто зачистные машины монтируются на каретках,

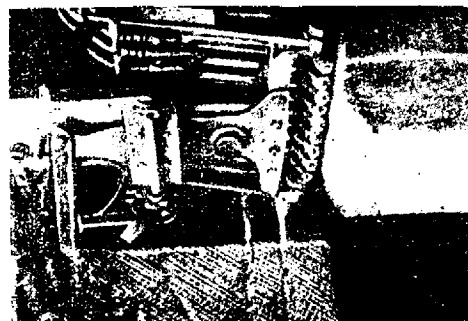


Рис. 123. Аппарат для сплошной огневой зачистки с одной стороны



Рис. 124. Аппарат для сплошной огневой зачистки с двух сторон

движущихся со скоростью от 4,5 до 27 м/мин, причем при движении вперед зачищается одна сторона заготовки, при обратном движении — другая. Огневая зачистка применяется для блюмов, слябов и заготовок всех размеров, включая и такие малые, как 38×38 мм. Производительность при огневой зачистке повышается в 4—6 раз по сравнению с ручной.

В последнее время огневая зачистка стала применяться не только для холодных блюмов и слябов, но и для горячих — сразу после блюминга или слябинга. В этом случае зачистка производится механизированным способом. Она осуществляется машинами стационарного или подвижного типа, установленными на линии рольганга между станом и ножницами (рис. 125). Подвижные машины предпочитают стационарным, так как их можно сдвигать в сто-

рону для ремонта, а имеющиеся при такой машине секции рольганга — ставить на ее место.

Глубина зачищаемого слоя равна приблизительно 3 мм или несколько меньше. Потери металла составляют от 2 до 3%.

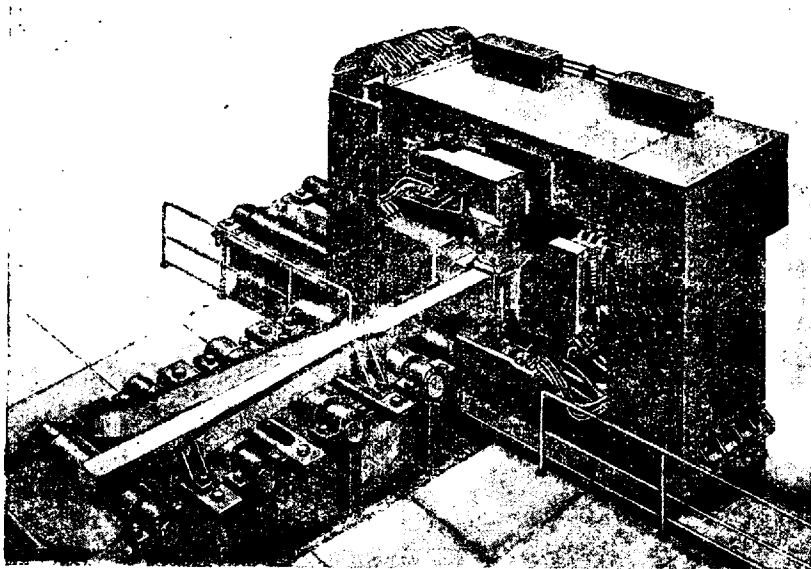


Рис. 125. Машина для горячей зачистки

Горячая зачистка применяется для сталей с содержанием углерода до 1,36%, никеля и хрома до 3%. При горячей зачистке производительность в 3 или 4 раза больше, чем при холодной огневой зачистке. Кроме того, при горячей зачистке экономится до 40% кислорода и до 50—75% ацетилена от тех количеств, которые затрачиваются при холодной зачистке.

## ГЛАВА 6

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОДУКТА

К основным технико-экономическим показателям, характеризующим производство тех или иных прокатных изделий, относятся: 1) расход металла, 2) расход топлива на нагрев металла, 3) расход электроэнергии для главных приводов и для моторов вспомогательных механизмов (в некоторых случаях для главного привода расходуется пар, если стан в качестве двигателя имеет паровую машину), 4) расход технической воды, 5) расход валков.

Все эти показатели различны при производстве блюмов, слябов и заготовок. Рассмотрим отдельно каждый из показателей.

**Расход металла.** При производстве прокатных изделий неизбежна потеря металла из-за самой структуры производственных процессов в прокатном цехе, а также по причинам, находящимся вне его.

Прежде всего, поверхность металла при нагреве окисляется, причем образуется слой окалины той или иной толщины. Часть окалины при нагреве оплавляється, превращаясь в шлак в результате соединения окислов железа с разными другими материалами (песок, кирпич и др.).

Затем, при прокатке, отдельные части полосы получают разное удлинение вследствие неравномерности деформации. Поэтому, как правило, концы полос после прокатки получаются неровными, их приходится обрезать. При прокатке слитков концы полос получают растрепанными или разломаченными; особенно много дефектов получается на том конце слитка, где сосредоточиваются ликваты и усадочная раковина. Все эти дефекты должны быть также удалены путем обрезки концов прокатанного слитка. Некоторое количество металла теряется при зачистке полупродукта на складе.

Часть металла идет в брак, который может получиться как недокат в прокатном цехе или по причине неудовлетворительного качества металла. Брак металла не является неизбежной потерей в производственном процессе, так как наличие его зависит исключительно от работающего персонала. Угар и концы, хотя и считаются неизбежными потерями, однако, величина их также в значительной степени зависит от персонала. Например, величина угара зависит от того, с каким избытком воздуха ведется нагрев, а также от продолжительности нахождения слитков в печах; при передержке металла в печах сверх установленного времени угар, естественно, возрастает. Отсюда понятно, что угар при нагреве слитков при го-

рячем посаде меньше, чем при холодном. Потери металла в обрезки могут увеличиваться или уменьшаться в зависимости от того, насколько внимательно работает резчик на ножницах.

Итак, потери металла в прокатном производстве идут по следующим статьям: 1) угар, 2) обрезка концов, 3) брак и недокат, 4) потери при зачистке и иногда еще при травлении. Последняя статья дает относительно небольшие потери, поэтому их обычно присоединяют к второй статье.

Угар металла в виде шлака и окалины при прокатке на блюминге или слябинге можно принять в среднем в 3%. На непрерывных заготовочных станах дополнительно теряется в окалину около 0,3% на каждой линии или до 0,5%, если стан имеет одну совмещенную линию в 8 клетей.

Количество металла, идущего в обрезки при прокатке блюмов, зависит от того, прокатывается ли слиток кипящей или спокойной стали. В первом случае достаточно отрезать от переднего (головного) конца слитка 3%, во втором случае — 16% при слитках, отливаемых с прибылью. Если же слиток спокойной стали отливается без прибыли, то обрезка от головного конца доходит до 40% для полного удаления усадочной раковины. Эти потери слишком велики, поэтому в большинстве случаев слитки спокойной стали отливаются с прибылью.

Потери металла в брак и недокат при самом процессе прокатки должны составлять не больше 0,5%.

Следует отметить, что на блюмингах потери считаются от веса слитка, т. е. сумму всех потерь в тоннах вычитают из 100 т заданных слитков для получения выхода годного. Обычно выход считают в процентах.

При прокатке слябов кипящей стали потери в концы получают разные для крупных и мелких слябов, а именно: 11,5% — для крупных слябов и 8% — для мелких. При прокатке слябов из слитков спокойной стали учитывается увеличение обрезки переднего конца. Указанные выше цифры сведены в табл. 25.

Таблица 25

Потери	Блумы		Слябы	
	кипящая сталь	спокойная сталь	кипящая сталь	спокойная сталь
Угар . . . . .	3	3	3	3
Концы . . . . .	5	18	8,0 ÷ 11,5	19,5
Недокаты . . . . .	0,5	0,5	0,5	0,5
Сумма потерь . . . . .	8,5	21,5	11,5 ÷ 15	23
Выход годного (%) . . . .	91,5	78,5	88,5 ÷ 85	77
Расход металла на единицу годного . . . . .	1,093	1,274	1,130 ÷ 1,177	1,300

Данные последней строки таблицы получены путем деления заданного (100%) на выход годного.

Потери на концы в непрерывных заготовочных станах могут варьировать в значительных пределах, вследствие того, что приходится вырезать заготовки мерных длин (нормально 4,5 м для заготовок 100 × 100 мм и выше и 9 м для заготовок сечением ниже 100 × 100 мм).

Для выравнивания концов достаточно вырезать меньше 1% металла с обоих концов в сумме. Но при одновременной резке нескольких полос на ножницах после первой группы клетей невозможно регулировать точно отрезаемые концы, поэтому от заднего конца обрезок получается всегда больше нормы, вследствие того, что каждая полоса имеет разную длину, так как они прокатываются из слитков разного веса. На летучих ножницах, отсекающих при каждом резе полосу определенной длины, по той же причине остаются концы длиной до 4 м, которые не всегда можно использовать, и они идут в отходы. Практическая величина обрезков на непрерывном заготовочном стане, состоящем из двух групп, может быть принята для первой группы в 3%, для второй в 2%. Сюда включается и недокат.

На заготовочных станах, как и на отделочных, потери считаются от веса годного. Понятно, что потери здесь будут одинаковыми для спокойной и для кипящей стали. С учетом окалины коэффициенты расхода металла и выход годного будем иметь в размерах, приведенных в табл. 26. Там же показаны цифры расхода металла и выхода годного из слитка.

Таблица 26

	Расход блюмов	Расход слитков	
		кипящая сталь	спокойная сталь
Расход металла			
Первая группа . . . . .	1,035	1,131	1,318
Вторая     ,     . . . . .	1,025	1,160	1,350
Выход годного			
Первая группа . . . . .	96,6	88,4	75,6
Вторая     ,     . . . . .	97,5	86,4	74,1

Эти данные не следует рассматривать как абсолютно точные, их можно считать средними. В отдельных случаях возможны отклонения в ту или иную сторону, в зависимости от условий прокатки. Например, при прокатке слитка одного и того же веса в блюмы разных сечений длина прокатанной полосы получается разная. Прокатывая слитки кипящей стали весом 5 т в блюмы сечением



165 × 165 мм и 250 × 250 мм, получаем окончательную длину после прокатки, соответственно равную 23,5 и 10,4 м. Потери в концы в первом случае будут меньше, чем во втором, так как существует минимальная физическая длина, которую удобно обрезать на ножницах, — около 250—300 мм. Таким образом, если обрезать с обеих сторон суммарно 600 мм, то в первом случае потери на концы составят 2,63%, во втором — 5,80%. В действительности при блюмах 165 × 165 мм будет отрезана несколько большая длина, но во всяком случае разница в потерях будет достигать 2%. На величине отходов будет также сказываться марка стали. Для более ответственных марок потери в обрезки будут больше тех величин, которые указаны в табл. 26.

Разница в коэффициентах будет зависеть еще и от того, используется ли полупродукт для дальнейшей прокатки или он будет отправлен как товарная продукция. В последнем случае часть металла отсортировывается по разным причинам. Например, коэффициент расхода металла на заготовку дляковки осей, прокатываемую на блюмингах, равен 1,60, т. е. на 0,30 больше того, какой указан в табл. 26 (1,30). Эта часть металла получается при отсортировке на складе.

Расход топлива на нагрев слитков колеблется в значительных пределах, в зависимости, главным образом, от температуры посадки слитков. При современной конструкции нагревательных колодцев и прокатке слитков мартемовской стали средний расход условного топлива принимается в 350—400 тыс. кал на 1 т нагретых слитков, при условии, что в посадку идет 80% горячих слитков и 20% холодных. Снижение процента горячих слитков приводит естественно к росту расхода топлива, увеличение этого процента, наоборот, к понижению расхода топлива. Например, при нагреве слитков бессемеровской стали с температурой посадки 900° расход тепла понижается до ~ 150 000 кал на тонну.

Расход электроэнергии на блюмингах и слябингах еще в большей степени, чем расход топлива, подвержен колебаниям, находясь в зависимости от сечений исходных слитков и конечных размеров блюмов и слябов, а также от температуры прокатываемого металла. Диаграмма на рис. 126 показывает изменение расхода энергии на главном приводе реверсивного блюминга в зависимости от удлинения. Из нее видно, что при прокатке слитков с средним сечением около 3800 см<sup>2</sup> в блюмы 180 × 180 мм, т. е. при удлинении 11,7, расход энергии составляет 19 квт-ч на 1 т слитков. При прокатке того же слитка в блюмы 250 × 250 мм с средним удлинением около 6,1 расход энергии равен 11,5 квт-ч на тонну слитков. Для наиболее типовых случаев работы блюминга расход энергии на главном приводе составляет 15 квт-ч на тонну слитков. К таким случаям относятся: прокатка блюмов 200 × 200 мм из слитка весом 4,5 т и прокатка блюмов 250 × 250 мм из слитка весом 7 т.

При прокатке слябов средний расход энергии составляет около 20 квт-ч на тонну.

Для вспомогательных механизмов — рольгангов, манипуляторов, ножниц, кранов и пр. — расходуется 8—10 квт-ч на тонну прокатанных слитков.

На непрерывных заготовочных станах в типовом случае прокатки с удлинением около 4—5 на каждой группе расход энергии составляет:

первая группа — прокатка блюмов 250 × 250 мм в заготовку 120 × 120 мм или блюмов 200 × 200 мм в заготовку 100 × 100 мм, расход энергии равен 7,5 квт-ч на тонну заготовки;

вторая группа — прокатка заготовки 120 × 120 мм в заготовку 55 × 55 мм или заготовки 100 × 100 мм в заготовку 45 × 45 мм, расход энергии составляет 12,5 квт-ч на тонну полученной заготовки; для вспомогательных приводов обеих групп расходуется 8 квт-ч энергии на тонну полученной заготовки.

Расход воды. При прокатке полупродукта вода расходуется:

- 1) для охлаждения задвижек и клапанов нагревательных колодцев,
- 2) для охлаждения шеек и бочки валков,
- 3) для смывания окалины (при мокром способе уборки),
- 4) для охлаждения ножей ножниц,
- 5) для охлаждения валков заготовочных станов.

На основании практических данных расход воды на 1 т проката можно принять: на нагревательные колодцы 0,5 м<sup>3</sup>, на блюминг (пункты 2, 3, 4) 1,5 м<sup>3</sup>, на заготовочные 3,0 м<sup>3</sup>.

Расход валков. Для блюминга расход валков определяется из нормы 300 тыс. т проката на одну пару валков. Вес одного валка диам. 1100 мм равен примерно 25 т. Значит, на одну тонну проката расходуется валков:

$$(25\,000 \times 2) : 300\,000 = 0,17 \text{ кг,}$$

или, кругло, 0,2 кг, учитывая некоторые возможные отклонения.

Для непрерывных заготовочных станов расход валков на одну тонну проката принимается: первая группа — 0,3 кг, вторая группа — 0,2 кг. Эта разница в показателях объясняется, главным образом, меньшей нагрузкой второй группы.

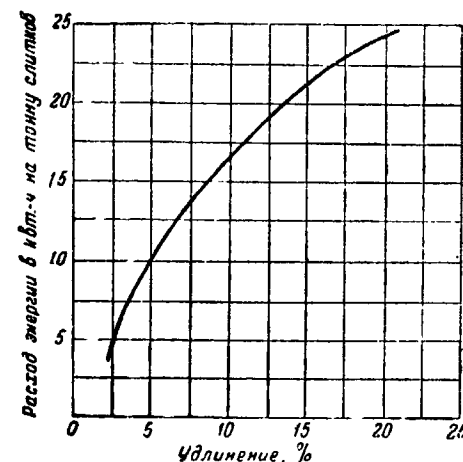


Рис. 126. Диаграмма расхода энергии на главном приводе блюминга в зависимости от удлинения

подавляющее количество прокатных изделий можно разделить на две основные категории: 1) сортовую сталь и 2) листовую сталь. Остальные виды проката, как, например, колеса, бандажи и др., составляют относительно незначительную часть общего количества проката:

Основные категории проката включают следующие виды изделий:

А. Сортовая сталь: 1) рельсы, балки и крупные фасонные профили, 2) сортовую сталь в прямом значении этого наименования, 3) катаную проволоку, 4) ленту, 5) заготовку для сварных труб.

Б. Листовая сталь: 1) толстолистовую сталь, 2) универсальную сталь, 3) тонколистовую сталь.

В особую группу можно выделить прокатные изделия обеих категорий, изготавливаемые из качественной стали.

Ниже описаны процессы производства отдельных видов готового продукта.

## ГЛАВА I

### ПРОКАТКА РЕЛЬСОВ И БАЛОК

#### 1. Сортамент

Рельсы и балки являются основными профилями в сортаменте так называемых рельсобалочных станов. На этих станах прокатываются и другие профили. Наиболее характерный сортамент рельсобалочных станов:

Рельсы железнодорожные . . . . .	от 30 до 75 кг/м
Балки двутавровые . . . . .	180 × 610 мм высотой
Швеллеры . . . . .	180 × 460 ;
Трамвайные рельсы «Феникс» . . . . .	100 × 210 ;
Угловая сталь . . . . .	140 × 140 до 200 × 200 мм
Круглая и квадратная сталь . . . . .	100 до 225 мм

Рельсы — наиболее важный продукт рельсобалочных станов, а метод производства их — наиболее сложен. Профиль рельсов характеризуется прежде всего весом 1 м, который находится в пределах от 30 до 75 кг. Второй характеристикой является распределение

металла в отдельных частях профиля — головке, шейке и подошве. В этом отношении все применяемые рельсы делятся на две группы: 1) рельсы с одинаковым количеством металла в головке и подошве (так называемый уравновешенный профиль) и 2) рельсы с количеством металла в головке, равным, примерно, тому, который приходится на шейку и подошву, взятые вместе.

На рис. 127 изображен эскиз уравновешенного профиля рельса весом около 50 кг/м, а в табл. 27 приведены размеры основных частей профиля и распределения металла в процентах между отдельными частями его.

Таблица 27

Обозначения	Размеры мм	Распределение металла %
A	70	Головка—39,5 Шейка—22,2 Подошва—38,3
B	132	
H	152	
h <sub>1</sub>	42	
h <sub>2</sub>	83	
h <sub>3</sub>	27	
t	14,5	

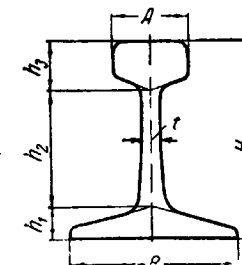


Рис. 127. Эскиз железнодорожного рельса

Эти данные показывают, что количества металла в головке и подошве приблизительно одинаковы. В рельсах второй группы на головку приходится около 50% всего металла. Как будет видно из дальнейшего, распределение металла между отдельными частями профиля рельсов имеет большое значение для производства.

Профиль рельсов связан с видом стали, из которой они изготавливаются. Можно считать, что в основном рельсы с уравновешенным профилем прокатываются из мартеновской стали, рельсы с массивной головкой — из конвертерной стали. Химический состав рельсовой стали приведен в табл. 28.

Таблица 28

Сталь	Содержание элементов, %				
	углерода	марганца	кремния	фосфора	серы
Мартеновская . . .	0,48—0,82	0,60—1,00	0,10—0,28	Не более 0,05	Не более 0,05
Конвертерная . . .	0,35—0,52	0,60—1,00	—	Не более 0,08	Не более 0,06

Данные этой таблицы показывают, что рельсы из конвертерной стали содержат углерода меньше, чем из мартеновской. Это делается для понижения хрупкости при сравнительно высоком содержании

фосфора в конвертерной стали. Рельсы с таким содержанием углерода не удовлетворяют современным условиям движения на железных дорогах в отношении износостойкости. Поэтому для повышения срока службы головки рельсов из конвертерного металла делают возможно более массивной.

Длина рельсов различна в разных странах. В СССР стандартная длина рельсов 12,5 м, намечен переход на 25 м. В США рельсы применяются двух стандартных длин — 11,9 м (39 фут.) и ~10 м (33 фут.). Несколько лет назад была сделана попытка перейти на более длинные рельсы, но вскоре от этого отказались из-за неудобств транспортировки таких рельсов. Вместо этого в США предпочитают сваривать концы рельсов при укладке их в пути. В Германии применяют рельсы длиной 30 и 15 м, в Англии считается стандартной длина в 18,3 м (60 фут.) и имеется тенденция к переходу на рельсы длиной 27,5 м (90 фут.).

## 2. Калибровка рельсов, общая характеристика

Рельс принадлежит к числу так называемых несимметричных профилей с неодинаковым распределением металла между отдельными частями его, причем у рельса из конвертерной стали эта разница, как отмечено выше, выражена резче. Вследствие этого невозможно достигнуть одинакового обжатия всех частей профиля при любой системе калибровки. Наибольшее обжатие получает шейка, а головка и подошва обжимаются слабее. Вследствие материальной связанности всех частей профиля при неодинаковом обжатии их происходит вынужденное удлинение или волочение менее обжимаемых участков с неизбежным образованием внутренних напряжений. Последнему способствуют еще такие факторы: 1) прокатка с большей скоростью более обжимаемых участков и с меньшей — менее обжимаемых в соответствии с разницей в диаметрах валков; 2) более интенсивное охлаждение фланцев подошвы из-за того, что размеры их меньше и образуются они раньше, с вынужденным уширением в первых пропусках.

Существует много различных вариантов калибровки рельсов, но все они имеют следующие общие характерные особенности:

1. Все калибры по форме разделяются на две основные категории: ребровые, или так называемые тавровые, и плоские, или горизонтальные, форма которых близка к форме готового рельса. Вначале обычно располагаются тавровые калибры, затем горизонтальные.

2. Тавровые калибры служат для образования подошвы. Без тавровых калибров, т. е. по балочному способу, калибруются рельсы только с узкой подошвой. Большая часть современных калибровок конструируется так, что к концу располагаются четыре плоских и последний тавровый калибр, придающий подошве окончательный размер. В некоторых случаях число плоских калибров у конца достигает шести.

3. Для всех калибровок следует считать характерными два коэффициента: а) средний коэффициент вытяжки за все пропуски, который в большинстве случаев находится в пределах 1,20—1,22, и б) коэффициент вытяжки в последнем, чистовом, калибре, нормально равный 1,07—1,09. Первый коэффициент оценивает калибровку в целом. Чрезмерное увеличение его отрицательно сказывается на качестве рельсов, так как приводит к возрастанию внутренних напряжений. Конечно, не без влияния остаются и коэффициенты вытяжки по отдельным калибрам, которые имеют особенное значение в последних пропусках, когда температура металла уже значительно снижается.

Второй коэффициент имеет значение не только в отношении величины внутренних напряжений, но еще и в отношении степени износа чистовых калибров. Чем меньше этот коэффициент, тем более благоприятны условия работы валков; минимальная практическая величина его 1,06.

В табл. 29 показаны коэффициенты вытяжки, принятые при калибровке рельсов на некоторых заводах в СССР и за границей.

Таблица 29

Заводы	Тип рельса кг/м	Площадь поперечного сечения рельса см <sup>2</sup>	Исходный блум		Число пропусков в рельсовом стане	Средняя вытяжка за пропуск	Вытяжка в последнем пропуске
			размеры мм×мм	сечение см <sup>2</sup>			
А	43,56	55,64	200×165	330	9	1,218	1,140
Б	38,41	49,06	200×180	360	11	1,199	1,109
В	43,56	55,64	300×330	990	15	1,212	1,070
Г	50,00	64,20	254×203	516	11	1,209	1,067

Существуют несколько характерных систем калибровки рельсов, которые рассматриваются ниже.

## 3. Калибровка рельсов, первый вариант

Эта калибровка (рис. 128) рассчитана на девять пропусков, из которых первые три производятся в тавровых калибрах, последующие шесть — в горизонтальных. Первый тавровый калибр сделан лежащим.

Такой калибр имеет ряд преимуществ:

1) металл в нем подвергается только прямому давлению, благодаря чему калибр изнашивается меньше, чем ребровой с боковым давлением;

2) в нем происходит энергичное обжатие головки и шейки при незначительном обжатии подошвы;

3) заготовка центрируется сама.

К недостаткам такого таврового калибра относятся: затруднительность захвата полосы валками в месте головки и необходимость в лишней кантовке.



Как исключение встречаются также станы с пятью клетями. В большинстве случаев рельсобалочный стан сопрягается с отдельным блумингом, но встречаются и другие варианты: 1) один блуминг обслуживает два рельсобалочных стана, 2) два блуминга обслуживают три рельсобалочных стана (см. рис. 98).

В этих схемах имеется в виду лучшее использование блумингов. Сортамент рельсобалочных станов включает большое количество фасонных профилей—балок, швеллеров, шпунтов, угольников и др., требующих частых перевалок, иногда довольно длительных, что связано с простоями блуминга. Для уменьшения простоев и вводят в схему два или три рельсобалочных стана, работающих поочередно. Один из них, более тяжелый с валками дуо диам. 900—950 мм, прокатывает рельсы и крупные балки (№ 30—60), а остальные—с валками диам. 800—750 мм—прокачивают более легкие балки (№ 18—30), крупносортовый металл, сортовую заготовку. В то время как два из этих станов находятся в работе, на третьем производится смена валков. Встречаются также реверсивные рельсобалочные станы трио, работающие и как реверсивные и как обычные станы трио с постоянным направлением вращения валков. Применение таких станов оправдывается лучшим размещением калибров в валках трио, что имеет особенное значение при прокатке балок.

Технологический процесс на реверсивном рельсобалочном стане представляется в следующем виде. Слиток весом 3,5—6 т прокатывается на блуминге в бумы требуемых размеров. По выходе из блуминга от полосы отрезаются концы на ножницах, после чего она поступает на рельсобалочный стан, где проходят последовательно все или часть клетей, в зависимости от прокатываемого профиля. Рельсы обычно прокатываются в двух клетях, балки и швеллеры—в двух, трех и четырех клетях, соответственно размеру профиля. Полоса подается к валкам рольгангами, от клетки к клетям—шлепперами. Первая клетка, как правило, имеет подъем верхнего валка, которым пользуются при прокатке крупных балок (свыше 300 мм высотой).

Таким образом, весь процесс от подачи слитка до выхода конечного профиля осуществляется в один нагрев. Это главная характеристика реверсивного стана. При этом стремятся каждый профиль выкатывать максимальной длины, допускаемой температурными условиями прокатки. Такое стремление получить наибольшую длину полосы объясняется желанием увеличить вес слитка и, следовательно, производительность стана и уменьшить потери металла на обрезки. В соответствии с этим наибольшая длина полосы достигает 120 м.

Представленный на рис. 131 стан имеет один двигатель, значит, последующая полоса задается в первый калибр после того, как предыдущая выйдет из последнего калибра, т. е. прокатка все время идет в один слиток.

Станы, изображенные на рис. 132 и 133, имеют по два двигателя; следовательно, можно расчленить процесс прокатки на две стадии или дублировать производственный процесс. Действительно, в стане (рис. 132) можно прокатывать одновременно две по-

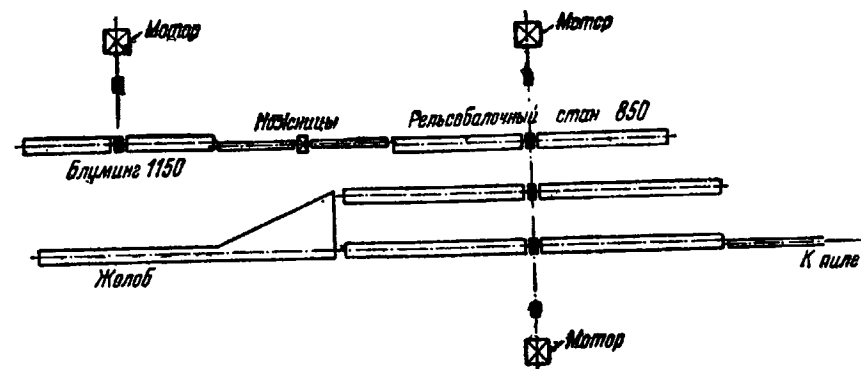


Рис. 132. Реверсивный рельсобалочный стан 850 с двумя двигателями

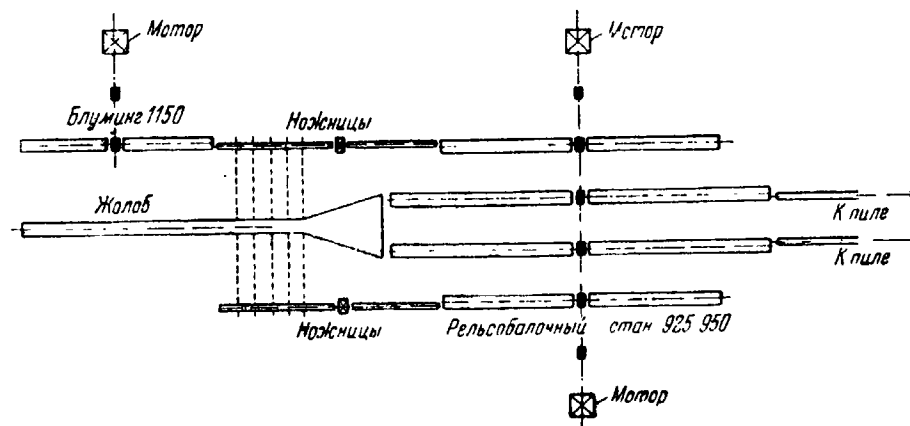


Рис. 133. Реверсивный рельсобалочный стан 925—950 с двумя двигателями

лосы одного профиля соответственно двум двигателям. Например, при прокатке рельсов в 9 пропусков в двух клетях в первой из них полоса делает 5 пропусков, во второй—4. Стан с четырьмя клетями и двумя двигателями (рис. 133) можно разделить на две самостоятельно работающие половины, по две клетки в каждой, в соответствии с чем слитки из блуминга будут поочередно поступать то на одну половину стана, то на другую. Так можно прокатывать все профили, калибры для которых размещаются в двух клетях. При прокатке же профилей в трех и четырех клетях этот стан работает по схеме стана рис. 132.

Следует еще отметить, что на реверсивных рельсобалочных станах прокатывается также более или менее значительное количество заготовки для сортовых станов и сутунки для тонколистовых станов, для чего в стане часто выделяется специальная клеть.

**Размеры валков.** Как было сказано выше, диаметр валков реверсивных станов находится в пределах 800—950 мм. Длина бочки валков берется с отношением ее к диаметру, равным 2,7—2,8. Наиболее характерные сочетания размеров валков встречаются следующие:

Диаметр мм	Длина бочки мм
950—925	2600
900	2400—2500
850	2300
800	2200

Диаметр валков выбирается в зависимости от размеров прокатываемых балок. Практически эта зависимость выражается следующими цифрами:

Диаметр валков мм	Максимальная высота балок мм
950—900	600 (750)
850	500
800	400

Встречаются, впрочем, и отступления от такого распределения. Например, имеются станы с диаметром валков 815 мм, на которых прокатываются балки высотой до 610 мм. На наиболее тяжелых станах диам. 925—950 мм прокатываются балки высотой до 750 мм с полками шириной 300 мм.

**Двигатели.** На многих старых станах еще и до сих пор в качестве двигателей сохранились паровые машины, главным образом, строенные, работающие с простым расширением пара или как компаунд. Мощность машин в большинстве случаев находится в пределах 3000—12 000 л. с., число оборотов до 120—150 в минуту. На более новых и реконструированных станах привод осуществляется от реверсивных электромоторов с наибольшей мощностью до 21 000 л. с. при наибольшем крутящем моменте 170 тм. Число оборотов в минуту  $0 \pm 90 \pm 180$ . Так как двигатель со станом соединяется непосредственно, то наибольшая скорость прокатки при разных диаметрах валков будет равна:

Диаметр валков мм	Скорость прокатки при $n = 180$ в мин. м/сек
950	9,0
900	8,5
850	8,0
800	7,5

Прокатка рельсов на реверсивном рельсобалочном стане. Слитки рельсовой стали сажают в нагреватель-

ные колодцы горячими, так как нагрев холодных рельсовых слитков связан со значительными осложнениями. Режим нагрева таких слитков описывался уже раньше (стр. 75).

Температуру нагрева слитков рельсовой стали желательно иметь не выше  $1150^\circ$ , так как при дальнейшем ее повышении легко перегреть слитки и получить характерную видманштеттову структуру. Если рельсы прокатываются из бессемеровской или томасовской стали, то слитки поступают в отделение нагревательных колодцев с температурой наружной поверхности около  $900^\circ$ . В соответствии с этим слитки, как правило, сажают в колодцы горячими, и только при нарушениях нормального производственного ритма некоторая часть слитков попадает на склад, откуда поступает в колодцы в холодном состоянии. Слитки, посаженные в горячем состоянии, должны находиться в колодцах не менее 1,5 часа. Хотя требуемая температура нагрева наружной поверхности слитка может быть достигнута и в более короткий срок, но внутренняя часть его еще окончательно не затвердеет и будет находиться в тестообразном состоянии. Такие слитки называются «сырыми». Они легко распознаются при прокатке в первых пропусках на блуминге по выпуклым боковым поверхностям. Таким образом, мы имеем здесь картину, как бы противоположную той, которая наблюдается в обычных случаях прокатки, когда средняя часть слитка имеет температуру ниже периферийных частей, вследствие чего боковые поверхности получаются вогнутыми. «Сырые» слитки после первых двух пропусков должны возвращаться в нагревательные колодцы для выравнивания температуры, так как дальнейшая прокатка их приводит к браку по той причине, что в средней части процесс кристаллизации еще не закончен.

Рельсы прокатываются обычно в 9 пропусков, из них 5 располагаются в первой клетке, 4 — во второй. Размеры и вес слитка выбираются из расчета получения 5—7 рельсов длиной 12,5—15 м или соответствующего количества других длин. Общая длина рельсовой полосы, выходящей из стана, находится в пределах 75—90 м без учета концов и температурного расширения. При выборе размеров слитка должно быть также соблюдено условие получения минимальной общей вытяжки. На основании практических данных величина этой последней должна быть не меньше 50; при заметном уменьшении ее рельсы получают с неудовлетворительной наружной поверхностью. При современных условиях прокатки этой минимальной вытяжке как раз и соответствует окончательная длина рельсовой полосы в 75—90 м.

Как было указано выше, номинальная скорость прокатки в реверсивных рельсобалочных станах находится в пределах 7,5—9 м/сек при диаметрах валков 800—950 мм. Средняя практическая скорость равна 6—7 м/сек. Следовательно, машинное время в последнем пропуске получается в пределах 11,2—15,6 сек. Практическая предельная величина этого времени не должна превышать 18 сек., так как при дальнейшем увеличении ее профиль получит:

ся с размерами, превышающими плюсовые допуски. При пропуске полосы через предчистовой и чистовой калибры производится сдувание окалины паром или сжатым воздухом. Температура конца прокатки рельсов равна 900—950°.

Прокатанная полоса выпускается на транспортный рольганг, который подает ее к пилам для обрезки концов и порезки на мерные длины. В большинстве случаев устанавливаются три пилы салязового типа. Во время резки производится клеймение рельсов, обычно вручную. После резки рельсы направляются на стеллажи для охлаждения.

## 7. Рельсобалочные станы трио

Рельсобалочные станы трио не представляют такого единообразия ни по конструкции, ни по методу работы, как реверсивные. Однако типовой рельсобалочный стан трио (рис. 134, 135) имеет характеристику, которая может быть сведена к следующим двум основным положениям: 1) стан состоит из двух или трех линий и 2) прокатка ведется в два нагрева. Такое расположение стана

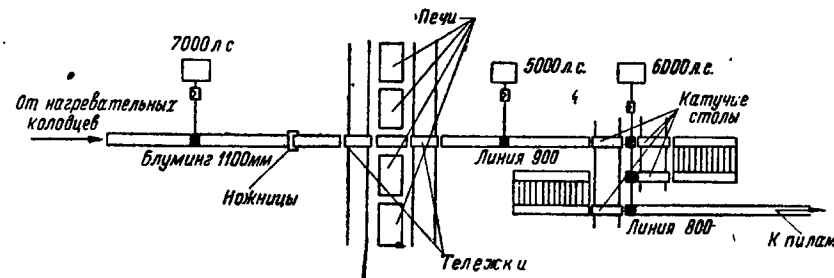


Рис. 134. Рельсобалочный стан трио в две линии

преследует две цели: 1) дифференциацию всего процесса для повышения производительности и 2) дифференциацию диаметров валков для достижения лучшей вытяжки и минимального уширения при прокатке в валках с меньшим диаметром во второй линии.

**Варианты расположения.** Приведенный на рис. 134 стан состоит из двух линий — черновой и чистовой. Черновая линия включает одну реверсивную клету дуо, чистовая — две клетки трио и одну дуо. Прокатка рельсов производится в 10 пропусков, из которых 5 приходятся на черновую линию и 5 — на чистовую. Стан трио этого типа имеет наибольшее распространение.

На рис. 135 показан стан с расположением в три линии. Как видно, отличие этого стана от предыдущего заключается в выделении чистовой клетки дуо в самостоятельную линию с одним пропуском. Неудобство такого расположения заключается в том, что передача полосы от первой клетки трио ко второй связана с некоторой

задержкой прокатки. Если, например, эта передача производится после нечетного пропуска, то полоса попадает на задний рольганг второй клетки, из которой в это время выходит предыдущая полоса, и, следовательно, необходимо ожидать, пока эта последняя уйдет с рольганга. Если же передача полосы производится с передней

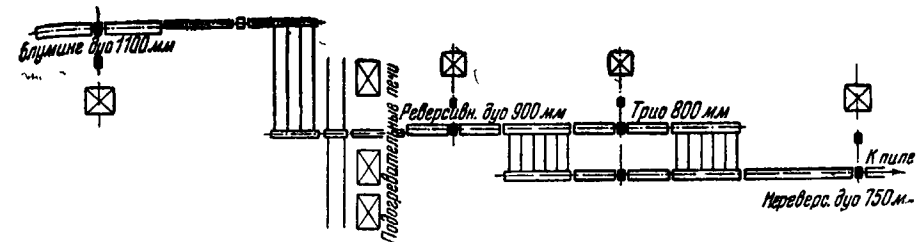


Рис. 135. Рельсобалочный стан трио в три линии

стороны стана, т. е. после четного пропуска, то задерживается подача следующей полосы в первую клету. Следует отметить, что рассмотренные варианты расположения стана трио в отношении производительности одинаковы. Вынос же чистовой клетки имеет недостатки: во-первых, затрудняется обслуживание стана, вследствие увеличения расстояния между линиями, во-вторых, удлиняется здание.

Рассмотрим отдельные части типового рельсобалочного стана трио.

Черновая линия обычно состоит из одной клетки дуо с валками диам. 815—965 мм при длине бочки 2000—2300 мм, приводимыми в движение от электродвигателей постоянного тока мощностью 3500—5000 л. с., с числом оборотов в минуту 0—50—120. Верхний валок работает с подъемом, который используется при прокатке балок. С обеих сторон клетки имеются манипуляторы (линейки) с кантовальными пальцами.

Чистовая линия в типовом стане включает две клетки трио и одну дуо. Размеры валков чистовой линии: диаметр 740—850 мм, длина бочки в клетях трио 1420—1800 мм, дуо 800—1100 мм.

Для привода валков применяют моторы постоянного тока с регулировкой числа оборотов и переменного тока с постоянным числом оборотов. Мощность моторов у большинства станом находится в пределах 5000—6000 л. с. Пределы числа оборотов валков: при моторах переменного тока—85—100, постоянного тока—50/120—80/160.

Клету трио оборудуются качающимися стационарными или катучими столами. В последнем случае они служат и для передачи полосы от клетки к клету. В других случаях эта операция выполняется при помощи шлепперов.

Клету трио применяются обычно открытого типа с регулировкой нижнего валка посредством нажимных винтов. Перевалка валков производится целыми клетями, заранее собранными в сто-



роне от стана. Для перевалки служат краны с подъемной силой до 100 т.

Подогревательные печи. До последнего времени для подогрева блумов применялись преимущественно камерные регенеративные печи, реже методические, которые имели ряд недостатков, из-за чего нельзя было обеспечить равномерности нагрева. В последнее время в связи с улучшением конструкции методических печей вопрос подогрева блумов на рельсобалочных станах решается в пользу последних. Общее устройство камерных печей видно на рис. 136. Изображенная на фигуре печь имеет под длиной 13 м, шириной 6 м, позволяющий сажать блумы с максимальной длиной 5,3 м. С каждой стороны печь имеет по 6 окон для посадки (с передней стороны) и выемки (с задней стороны) блумов. Ширина окон взята равной 1500 мм из расчета посадки трех блумов сечением  $270 \times 270$  мм в одно окно. Таким образом, одновременно в печи может находиться 18 блумов общим весом до 40—50 т.

Посадка блумов в печь и выдача их из печи производятся специальными садочными машинами кранового типа с грузоподъемностью 7,5 т (рис. 137). Блум захватывается клещами, имеющимися на конце хобота, который входит в печь через садочные окна.

Транспортировка блумов вдоль печей осуществляется четырьмя имеющими рольганги тележками, по две с каждой стороны печей. При подаче блума от ножниц блуминга он принимается тележкой, которая становится в месте разрыва рольгангов. Тележка далее подвозит блум к соответствующей печи, в которую он сажается садочной машиной. При выдаче нагретых блумов тележка с задней стороны печей становится против соответствующего окна выдачи, садочная машина вынимает блум и укладывает его на тележку, которая подает блум к рельсобалочному стану, для чего в линии рольганга сделан второй разрыв.

Печи отапливаются смесью доменного и коксового газов с теплотворной способностью смеси около 1250 кал или генераторным газом. Газ и воздух подогреваются в регенераторах.

Продолжительность нагрева блумов в печи — около 40 мин. нормально. Учитывая потери времени на посадку и выдачу блумов и на ожидание последних, часовую производительность таких печей можно считать в пределах 35—40 т, в зависимости от размеров блумов и температуры посадки и выдачи их.

Современные методические печи для подогрева блумов при рельсобалочных станах применяются трехзонные рекуперативные, отапливаемые газом с теплотворной способностью около 2000 кал. Такие печи имеют длину пода 18—26 м, ширину — 5,6 м. Часовая производительность каждой печи 40—50 т при холодном и 60—80 т при горячем посаде. Печи располагаются таким образом, что блумы после ножниц могут идти прямо к рельсобалочному стану без подогрева, если это потребуется, или передаваться шлепперами в сторону для подачи к посадочным площадкам подогревательных печей.

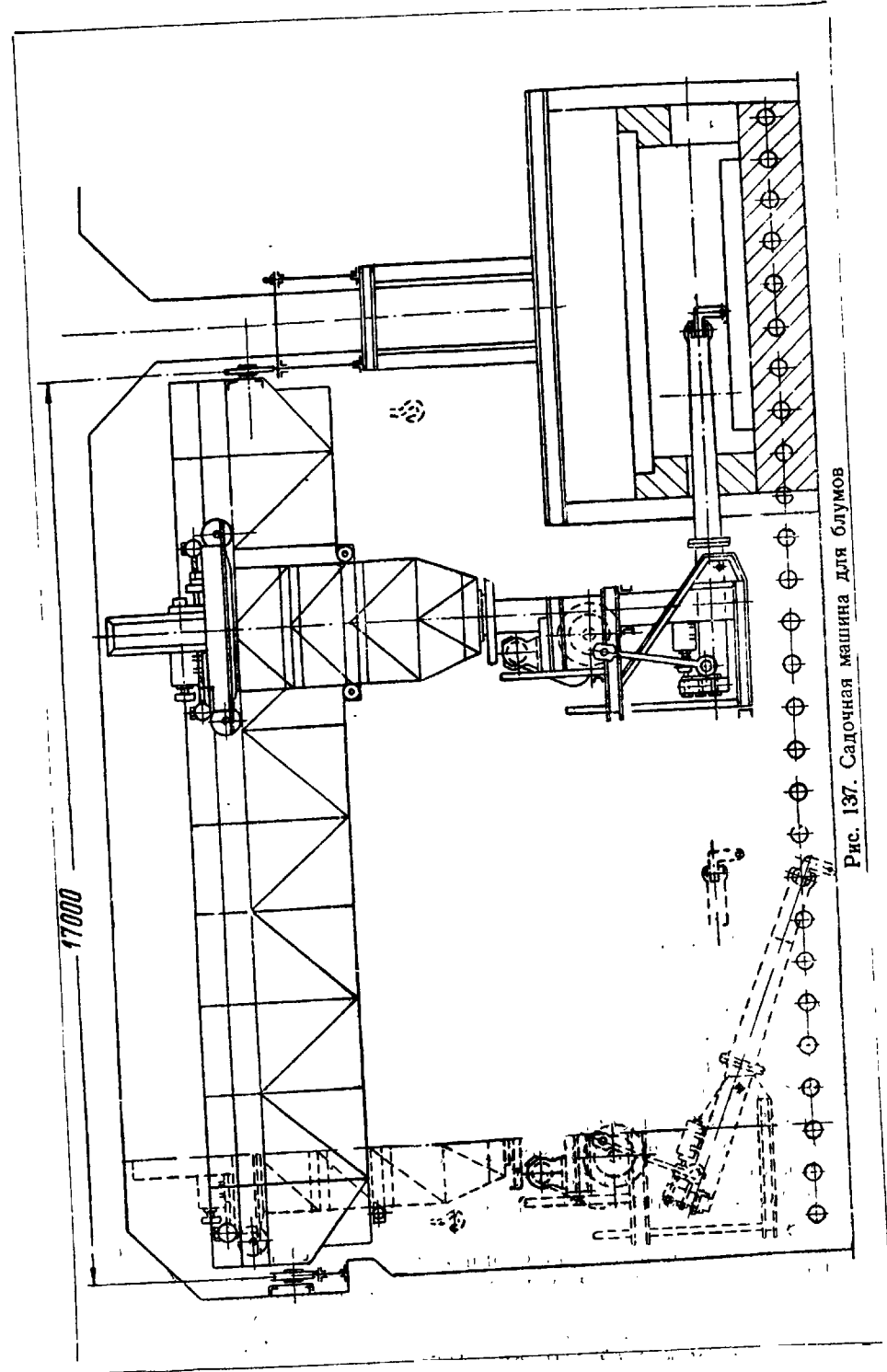


Рис. 137. Садочная машина для блумов



Прокатка рельсов. Технологический процесс прокатки железнодорожных рельсов на типовом рельсобалочном стане трио представляется в следующем виде. Слиток весом 6—8 т обжимается в блумы сечением от  $200 \times 200$  до  $300 \times 330$  мм. Из каждого слитка получается 2—3 блума весом 1,8—2,8 т, которые затем подогреваются в продолжение около 40 мин. После этого блумы последовательно проходят черновую и чистовые клетки. Число пропусков и распределение их по клетям приведено в табл. 30. В США, где, как уже указывалось выше, нормальная длина рельсов принята в 10,0 и 11,9 м (33 и 39 фут.), рельсовая полоса обычно прокатывается трехкратной длины, т. е. в 30 и 35,7 м. На Кузнецком заводе длина рельсовой полосы равна 50—62,5 м, или 4—5-кратной нормальной длине рельса советского стандарта (12,5 м), что дает несомненные преимущества.

После прокатки полоса режется пилами на отдельные рельсы, которые клеймятся специальной штамповочной машиной, затем поступают на стеллажи для охлаждения.

Таблица 30

Наименование станов	Реверсивная клеть	Число пропусков				
		линия трио			линия дуо	всего
		1-я клеть	2-я клеть	3-я клеть		
Стан в две линии—с одной черновой клетью и тремя чистовыми:						
Первая схема прокатки . . . . .	5	3	3	1	—	12
Вторая схема прокатки . . . . .	5	3	1	1	—	10
Стан в три линии—с одной черновой клетью, с двумя промежуточными и одной чистовой:						
Первая схема прокатки . . . . .	5	5	4	—	1	15
Вторая схема прокатки . . . . .	5	3	2	—	1	11

Следует отметить, что характеристика рельсобалочных станов с разделением на две группы — реверсивные дуо и трио — охватывает подавляющее число этих станов. Встречаются и отступления от указанной характеристики:

1) имеются рельсобалочные станы трио, работающие как реверсивные дуо, т. е. с приводом валков от реверсивных моторов и с прокаткой в один нагрев;

2) на некоторых реверсивных станах прокатку ведут в два нагрева.

Все отклонения от указанного деления нехарактерны.

Кроме того, имеются рельсовые станы, конструкция и расположение которых отличаются от указанных выше основных. Одним из таких станов является рельсовый стан с последовательным расположением клетей (см. рис. 103).

Он состоит из двух основных частей: 1) блуминга и 2) рельсового стана. Процесс построен на прокатке слитков весом 3,5 т в готовые рельсы, без промежуточного подогрева, в 18 пропусков, из которых 9 приходится на блуминг и 9 — на рельсовый стан.

О блуминге уже говорилось выше (стр. 148), поэтому мы будем говорить здесь лишь о рельсовом стане. После прокатки в блуминге слиток имеет сечение  $197 \times 203$  мм. На ножницах производится обрезка концов и разрезка слитка на две части, каждая из которых поочередно без подогрева поступает в рельсовый стан. Он имеет семь клетей, расположенных в три линии, из которых первая и третья состоят каждая из трех клетей трио и вторая — из одной клетки дуо. Диаметр валков всех клетей равен 710 мм. Для привода их установлены следующие моторы переменного тока: в первой линии — 600 л. с.,  $n=83$ , во второй линии — 2000 л. с.,  $n=68$  и в третьей — 6000 л. с.,  $n=83$ . Передача от моторов к валкам — непосредственная.

В первой клетке делается три пропуска в тавровых калибрах, в остальных клетях — по одному пропуску. Во второй клетке расположен разрезной калибр, почему число оборотов валков снижается с 83 до 68 в мин. Для резки рельсовой полосы на мерные длины имеется 7 пил.

## 8. Охлаждение рельсов на стеллажах

Перед поступлением на горячие стеллажи рельсы подвергаются горячему загибу выпуклой стороной на головку. Для этой цели применяются устройства двух типов. На рис. 138 показана балка с криволинейным очертанием, к которой рельс прижимается специальными рычагами, действующими от гидравлических или пневматических цилиндров. Балка может прятаться под стеллажом.

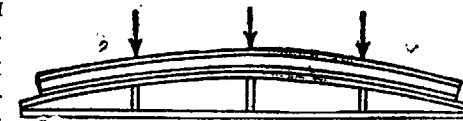


Рис. 138. Балка для горячей правки рельсов

На современных заводах горячая правка рельсов производится роликовой машиной, имеющей три вертикальных ролика (рис. 139), проходя между которыми, рельс изгибается выпуклой стороной на головку.

Горячий загиб имеет целью предупредить сильное искривление рельса при остывании на стеллажах, вследствие несимметричности профиля. Усадка головки более значительна, чем усадка подошвы, вследствие большей компактности массы металла в ней (иначе говоря, вследствие меньшего отношения периметра к площади в головке, чем в подошве). У рельса с массивной головкой эта разница сказывается резче, чем у рельса уравновешенного, вследствие сосредоточения большего количества металла в головке.

Например, в нашем рельсе типа I-A эта характеристика выражается цифрами, приведенными в табл. 31.

Таблица 31

Части профиля	Периметр $S$ мм	Площадь $F$ мм <sup>2</sup>	Отношение $S : F$
Головка . . . . .	210	2553	0,082
Подошва . . . . .	265	1996	0,137

Как показывают эти данные, для головки указанное отношение в 1,5 слишком раза меньше, чем для подошвы, вследствие чего рельс в конечном итоге изгибается вогнутой стороной на головку.

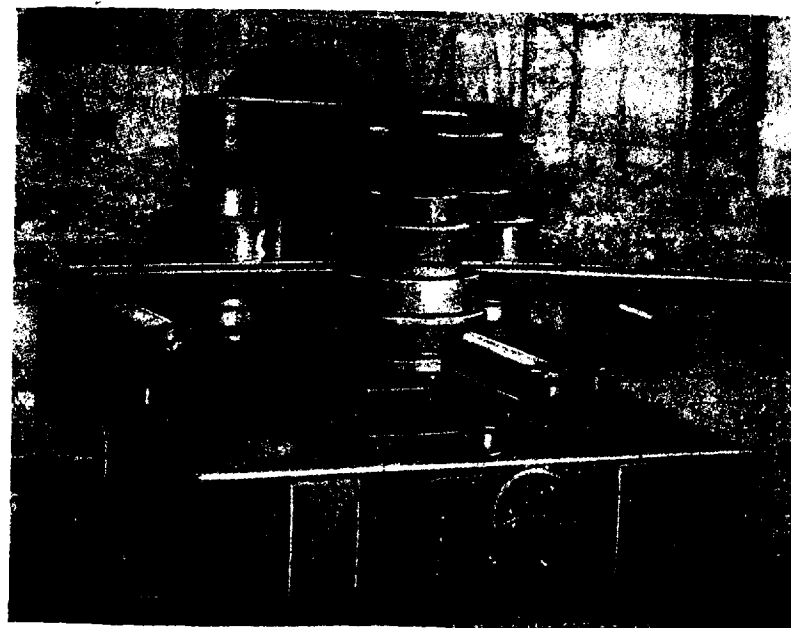


Рис. 139. Роликовая машина для горячей правки рельсов

Для частичной компенсации изгиба осуществляются следующие мероприятия: 1) рельсы укладывают на стеллажах таким образом, чтобы подошва последующего рельса примыкала к головке предыдущего, благодаря чему происходит частичное выравнивание тепла в обеих частях профиля; 2) перед поступлением рельсов на горячие стеллажи их изгибают выпуклой стороной на головку.

Помимо указанных причин термического характера, на искривление рельсов оказывают влияние объемные изменения, происходящие в металле при переходе через критический интервал из состояния  $\gamma$  в состояние  $\alpha$ . Моменты такого перехода для головки и подошвы разные, причем для подошвы переход наступает раньше, чем для головки.

В общем охлаждение рельсов проходит в трех последовательных стадиях: охлаждение выше критического интервала ( $900-760^\circ$ ), охлаждение в пределах критического интервала ( $760-650^\circ$ ), охлаждение ниже критического интервала ( $650-100^\circ$ ).

Рассмотрим каждый период в отдельности (рис. 140).

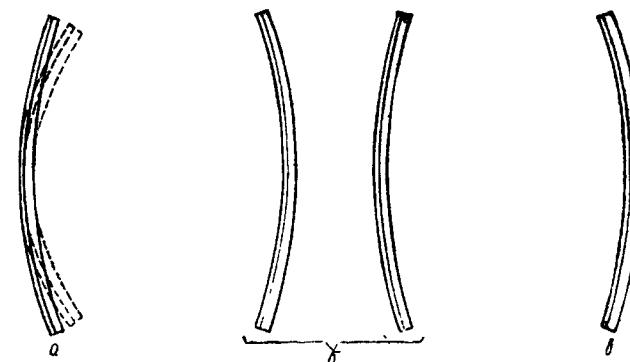


Рис. 140. Схема искривления рельса при остывании на стеллажах

Первый период (рис. 140, а). Подошва остывает быстрее головки, и, следовательно, изгиб рельса продолжается в том же направлении, которое было ему дано при предварительном изгибе, т. е. выпуклостью на головку.

Второй период (рис. 140, б) наступает при переходе подошвы через критический интервал. Подошва удлиняется, и, следовательно, изгиб происходит на подошву, которая становится выпуклой. Этот процесс длится до тех пор, пока не начнется переход головки через критический интервал, когда рельс изгибается в противоположную сторону, т. е. выпуклостью на головку.

Третий период (рис. 140, в). После перехода головки через критический интервал начинается интенсивное охлаждение ее, подошва же к этому времени остывает довольно значительно. Вследствие большей усадки головки, рельс начинает изгибаться выпуклостью на подошву.

Описанный процесс охлаждения рельсов представляет основную схему. В действительности еще сказывается взаимное влияние отдельных частей профиля соседних рельсов, вследствие чего температуры подошвы и головки могут меняться. Кроме того, ока-

зывают действие и сквозняки в цехе, в особенности зимой. Учесть влияние этих факторов, конечно, трудно.

В результате неравномерного охлаждения рельсов в них возникают значительные внутренние напряжения, которые могут вызвать образование внутренних трещин. Отсюда возникает задача установления правильного режима охлаждения рельсов после прокатки, о чем будет сказано ниже — в разделе, касающемся термической обработки рельсов.

Определение необходимой площади горячих стеллажей. Длина горячих стеллажей для рельсов берется в соответствии с принятой стандартной длиной их, поэтому вопрос по существу сводится к определению не площади, а ширины стеллажей.

Примем обозначения:

$A$  — часовая производительность рельсового стана, т;

$g$  — вес одного рельса стандартной длины, т;

$h$  — высота рельса, м;

$t$  — время охлаждения рельсов на стеллажах, час;

$B$  — необходимая ширина стеллажей, м.

Имеем:

число рельсов, прокатываемых в час:  $\frac{A}{g}$

число рельсов, прокатываемых за  $t$  часов:  $\frac{A}{g} \cdot t$ .

Отсюда, необходимая ширина стеллажей:

$$B = \frac{A \cdot t \cdot h}{g}.$$

Однако ширина стеллажей, определенная по этой формуле, была бы недостаточной по следующим соображениям:

1) в ней не учитывается неплотность укладки рельсов, которую можно охарактеризовать коэффициентом, примерно равным 0,80; так, например, на 1 м ширины стеллажей помещается не более шести рельсов типа II-A высотой 135 мм;

2) ширина, полученная вычислением, постоянно заполнена рельсами; между тем, надо еще иметь свободную маневренную площадь, необходимую в те промежутки времени, когда производится передвижение по стеллажам остальной части рельсов, и для компенсации неувязок в работе рельсоотделочной и стана; этот второй коэффициент практически можно также принять равным 0,80.

Таким образом, общий поправочный коэффициент будет равен 0,65.

Следовательно, формула для определения ширины горячих стеллажей примет окончательный вид:

$$B = \frac{A \cdot t \cdot h}{0,65 g}. \quad (55)$$

На стеллажах современной конструкции практически установлены следующие величины времени охлаждения рельсов разных типов: III-A — 3,0 часа, II-A — 3,5 часа, I-A — 4,0 часа.

Пример. Определить ширину горячих стеллажей для охлаждения рельсов типа I-A в количестве 120 т в час.

Входящие в указанную выше формулу величины будут иметь следующие значения:

$$A = 120 \text{ т};$$

$$t = 4 \text{ часа};$$

$$h = 0,140 \text{ м};$$

$$g = 0,55 \text{ т } (43,5 \times 12,5 \text{ м});$$

$$B = \frac{120 \cdot 4 \cdot 0,14}{0,65 \cdot 0,55} \approx 187 \text{ м}.$$

Ширину одной секции берут в пределах 35—50 м. В данном случае можно взять 4 секции по 45—50 м.

## 9. Отделка рельсов

Отделка рельсов включает три операции: правку, фрезерование концов и сверление дыр. Каждая из этих операций связана с передвижением рельсов. Количество рельсов, выпускаемых одним

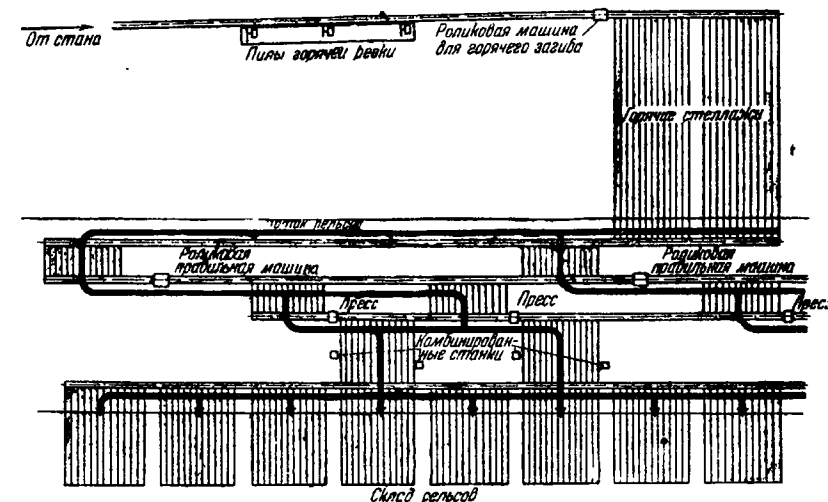


Рис. 141. Схема расположения рельсоотделочной и склада рельсов

станом в сутки, достигает 5000 шт., поэтому вопрос транспорта их в отделочной приобретает большое значение.

Пример расположения отделочной приведен на рис. 141. Остывшие рельсы с горячих стеллажей по общему транспортному

рольгангу передвигаются к двум роликовым правильным машинам, перед которыми располагаются стеллажи для создания небольшого запаса рельсов. После правки рельсы направляются к штемпельным прессам, где производится доправка их. К каждому прессу примыкает по два комплекта фрезерных и сверлильных станков, от которых рельсы сдвигаются на стеллажи для осмотра, затем поступают на склад. Рельсы передаются от одних машин к другим рольгангами и шлеперами.

**Правка рельсов.** Рельсы правят на роликовых машинах и штемпельных прессах. Общий вид роликовой машины показан на рис. 142. Машина имеет пять горизонтальных правильных роли-

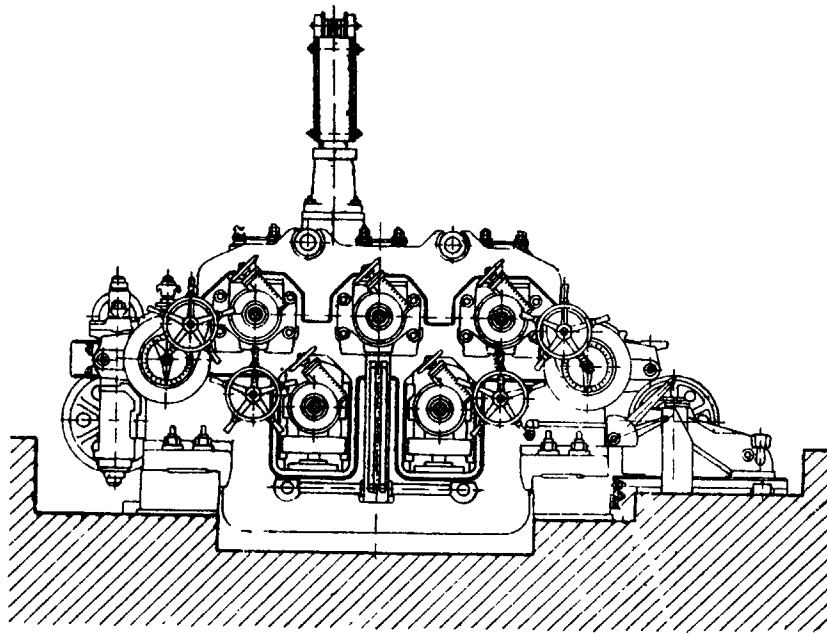


Рис. 142. Роликовая правильная машина

ков с расстоянием между осями их 1200 мм, из которых три верхние приводные, два нижние холостые. Кроме того, имеются две пары вертикальных приводных роликов, два вводных и один выводной. Ролики состоят из нескольких дисков, в собранном виде насаживаемых на оси, которые вращаются в подшипниках, расположенных в двух станинах. Одна из станин может отодвигаться, если требуется произвести смену роликов, причем вместе со станией отводятся и оси с роликами (рис. 143). Смена роликов производится консольным вращающимся 4-т краном, с вылетом 3,5 м.

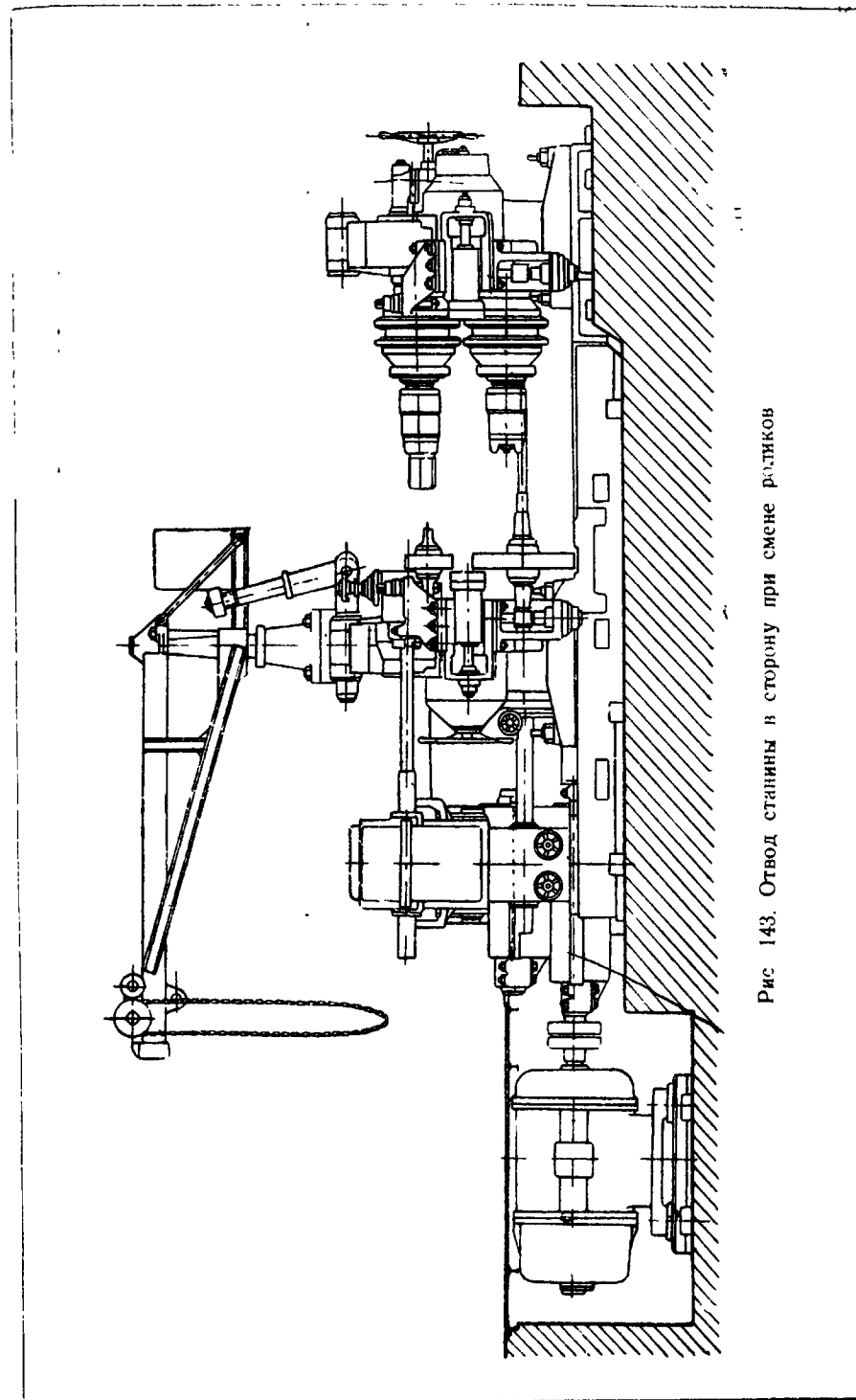


Рис. 143. Отвод станины в сторону при смене роликов

Наиболее крупная из таких машин может править рельсы до 65 кг/м и балки высотой до 600 мм. Скорость правки находится в пределах 32—48 м/мин. Мощность приводного мотора — 170 л. с.

На роликовой машине рельсы правятся в большинстве случаев на ребро (рис. 144), реже — плашмя. В пятивалковой машине рельс в процессе правки по длине разбивается на три участка, каждый из которых находится между тремя роликами, и изгибается поочередно в двух противоположных направлениях (рис. 145).

Напряжения при правке переходят за предел упругости, и металл рельса получается наклепанным. Поэтому качество правки определяется величиной остаточных напряжений: чем она ниже, тем выше качество правки.

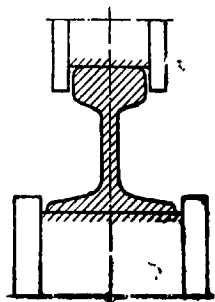


Рис. 144. Схема правки рельсов роликами

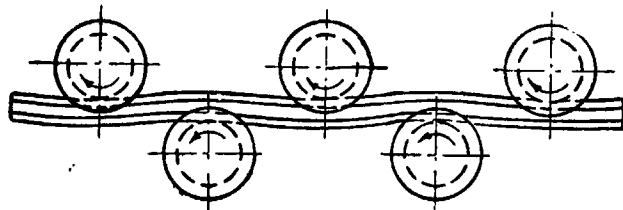


Рис. 145. Изгиб рельсов во время правки

В соответствии с этим здесь приобретают важное значение следующие факторы:

1) величина стрелы прогиба рельса после охлаждения на стеллажах, которая должна быть возможно меньше;

2) настройка правильной машины: она не должна допускать образования местных перенапряжений в рельсах из-за неравномерной нагрузки отдельных участков и перекосов;

3) своевременная смена роликов, так как при выработке поверхности их могут образоваться трещины и расколы в подошве рельсов от местных наддавов. Удовлетворительная практика дает 5000 т выправленных рельсов на комплект роликов за одну переточку. Число переточек до полного износа роликов — 3—4. Концы рельсов на роликовых машинах выправляются недостаточно удовлетворительно, поэтому приходится подвергать рельсы дополнительной правке на штемпельных прессах.

Фрезерование и сверление. После правки рельсы размечаются для установления правильной длины, затем концы их фрезеруют на специальных фрезерных станках, расположенных попарно, но с некоторым взаимным смещением, чтобы концы обрабатывались поочередно. Нормальная величина снимаемого металла по длине составляет 5 мм, фактически обычно больше.

Дыры сверлят также поочередно с каждого конца рельса на сверлильных станках, имеющих подачу в двух направлениях; поперечную — для сверления отверстия на толщину шейки и продольную — для получения овальной формы дыр.

Операции фрезерования и сверления производятся отдельно, как указано выше, на так называемых индивидуальных станках или одновременно на комбинированных станках. В первом случае производительность одного комплекта несколько больше, чем во втором. Но последний имеет преимущество в том, что требует вдвое меньше персонала для обслуживания станков.

Производительность машин отделочной. Если обозначим скорость вращения роликов правильной машины через  $v$  м/мин, длину выправляемого рельса через  $l$ , то необходимое время правки  $t$  определится из формулы:

$$t = \frac{60 \cdot l}{v},$$

в которой 60 — число секунд в минуте. Полученная таким путем величина представляет теоретическое время, затрачиваемое на процесс правки. Для определения практической производительности машины необходимо ввести еще коэффициент  $k$  для учета подсобного времени, расходуемого для задачи рельса в машину, а также задержек в работе. Тогда полное время на правку одного рельса:

$$T = \frac{60 \cdot l \cdot k}{v}.$$

Часовая производительность машины:

$$A = \frac{3600}{T} = \frac{3600 \cdot v}{60 \cdot l \cdot k} = \frac{60 \cdot v}{l \cdot k} \text{ шт. рельсов.} \quad (56)$$

Скорость правки рельсов, как было указано выше, находится в пределах 32—48 м/мин или в среднем около 40 м/мин. Коэффициент  $k$  практически находится в пределах 1,5—1,6.

Следовательно, часовая производительность роликовой машины при правке рельсов длиной, например, в 12,5 м составит:

$$A = \frac{60 \cdot 40}{12,5 \cdot 1,6} = 120 \text{ шт.}$$

Это количество рельсов распределяется на два штемпельных прессы и на четыре комплекта станков. Значит, производительность штемпельных прессов — 60 шт. в час, комплекта фрезерных и сверлильных станков — 30 шт. в час.

## 10. Осмотр и испытание рельсов

Осмотр рельсов. Окончательно отделанные рельсы передаются на стеллажи, где проходят наружный осмотр для выявления внешних дефектов. Наружный осмотр выполняется дважды:

первый раз — заводским ОТК, второй раз — инспектором Министерства путей сообщения.

Главнейшие внешние дефекты, по которым рельсы отбраковывают, при наружном осмотре таковы (рис. 146):

1) трещины и волосовины, располагающиеся преимущественно на головке, обнаруживаемые невооруженным глазом или путем вырубki зубилом;

2) следы усадочной раковины, заметные невооруженным глазом на торцах в виде темновин или обнаруживаемые вырубкой зубилом в виде расслоя;

3) плены, выявляемые, главным образом, на подошве рельсов;

4) неправильный профиль с допусками, превышающими установленные техническими условиями;

5) косые рельсы, имеющие кривизну в двух плоскостях, вернее, по винтовой линии (такие рельсы получают при неправильной установке валков и проводок).

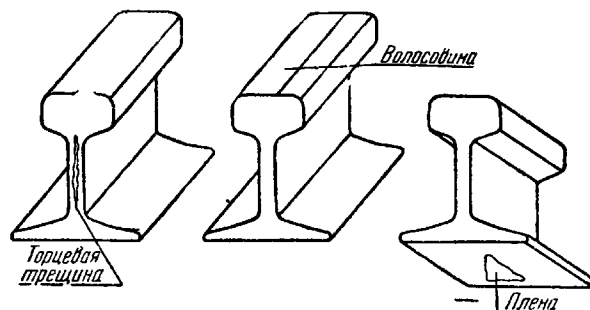


Рис. 146. Виды брака рельсов

Рельсы с указанными дефектами зачисляются во «2-й сорт заводской». Та часть из них, в которой дефекты располагаются по концам таким образом, что при рубке этих дефектных концов можно получить кондиционную длину, направляется обратно в отделочную. Например, в наших условиях поставки, кроме рельсов нормальной длины 12,5 м, допускается некоторое количество их с длиной 12, 11,5 и 11 м. Часть рельсов, имеющих местную кривизну больше 5 мм, направляется на переправку.

После заводского осмотра рельсы, как сказано, предъявляются для приемки инспектору Министерства путей сообщения, который подвергает их вторичному наружному осмотру, а также производит испытания в соответствии с техническими условиями.

Испытание рельсов. Во всех странах характер испытания рельсов можно считать одинаковым, различие заключается только в нормах. Ниже рассмотрены испытания, которым подвергаются рельсы по нашим техническим условиям, включающим:

1) испытание на удар, 2) испытание на растяжение, 3) контроль химического состава стали.

Для испытания на удар от одной из рельсовых полос каждой плавки в горячем состоянии отрезается с усадочного конца кусок длиной около 1,5 м и после полного остывания подвергается удару бабой весом 500 кг с высоты, различной для рельсов разных размеров. Например, для рельсов типа I-A (43,56 кг/м) она равна 8,2 м. После первого удара стрела прогиба не должна превышать 60 мм. Далее, если после второго удара стрела прогиба будет менее 90 мм, то повторными ударами с высоты по усмотрению завода прогиб должен быть доведен до 90 мм, причем рельс не должен обнаруживать никаких признаков разрушения.<sup>1</sup>

При испытании на растяжение предел прочности образца диам. 15 мм должен быть не ниже 70 кг/мм<sup>2</sup>.

Если при первых испытаниях получаются неудовлетворительные результаты, то рельсы подвергаются переиспытанию с двойным количеством образцов. При повторных неудовлетворительных результатах рельсы зачисляются во 2-й сорт (так называемый «инспекторский»), если они удовлетворяют техническим условиям на рельсы этой категории, или в брак.

Принятые инспектором рельсы соответствующим образом клеймятся и грузятся в отправку или укладываются в штабели на складе.

Склад рельсов. Инспекторский осмотр и отправка рельсов производятся на складе, примыкающем к отделочной. Рельсы обычно осматривают днем, так как при искусственном освещении трудно выявить наружные дефекты их. Поэтому на складе имеется необходимое количество стеллажей для осмотра рельсов и складывания их в штабели перед осмотром и после него. Общая площадь склада, необходимая для осмотра и складывания рельсов, берется из расчета 30—40 т годовой производительности рельсов на 1 м<sup>2</sup> площади склада.

Для обслуживания склада применяются магнитные краны с жесткой мачтой грузоподъемностью 15 т, с пролетом 30—35 м. Магнитов берется 2—4 в зависимости от длины рельсов. Один такой кран в состоянии переработать около 1000—1200 шт. рельсов в сутки.

## 11. Термическая обработка рельсов

Общие соображения. По мере развития железнодорожного транспорта постепенно увеличивалась мощность паровозов, повышалась скорость движения и возрастала грузонапряженность. В результате влияния всех этих факторов значительно повысилось динамическое воздействие на путь со стороны движущегося поезда с более частым повторением этих воздействий.

Параллельно этому производилось постепенное усиление пути: утяжелялись профили рельсов, увеличивалось число шпал и улуч-

<sup>1</sup> ГОСТ 4224—48.

шалась балластировка. Так, например, у нас вес 1 м рельса с 30 кг в 1900 г. увеличился до 43,5 кг в настоящее время и намечен переход на рельсы весом 50 и 65 кг.

Но одно утяжеление профиля рельсов не могло удовлетворить требований, предъявляемых к их качеству, которые сводятся к следующему:

1) рельсы должны быть достаточно прочными, чтобы сопротивляться значительным динамическим воздействиям движущегося поезда;

2) более высокую прочность рельсы должны иметь в стыках, подвергающихся наибольшему ударным нагрузкам;

3) рельсы должны быть износоустойчивыми;

4) при достаточной прочности и износоустойчивости рельсы не должны быть хрупкими, особенно в зимнее время при низких температурах.

Первое требование удовлетворяется, прежде всего, выбором профиля рельсов соответствующих размеров, во-вторых, подбором металла подходящего качества с необходимыми механическими свойствами. Металл не должен быть слишком твердым, так как с увеличением твердости снижается вязкость, повышается хрупкость и склонность к образованию трещин.

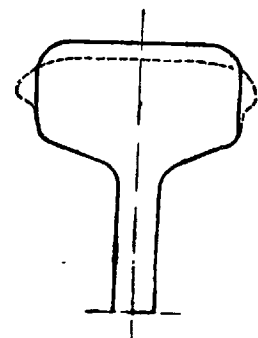


Рис. 147. Снятие головки рельса

С другой стороны, рельсы с пониженной твердостью подвержены быстрому износу, особенно в стыках, где металл имеет характерный вид течения (рис. 147). Таким образом, отдельные требования к качеству металла носят несколько противоречивый характер. Опыт производства и эксплуатации рельсов это подтверждает. Например, в США вместе с усилением профиля рельсов увеличивали содержание углерода в них, доводя его до 0,90%. Это мероприятие вместе с тем привело к отказу от бессемеровских рельсов, чтобы иметь содержание фосфора не выше 0,04%. Но впоследствии пришлось понизить содержание углерода в рельсах из-за недопустимого увеличения хрупкости их. У нас в Союзе для повышения износоустойчивости рельсов и понижения смятия стыков увеличили содержание углерода в бессемеровских рельсах, что повело к большому количеству изломов из-за поперечных трещин, особенно в зимние месяцы.

Все эти обстоятельства заставили искать способы повышения качества рельсов путем, прежде всего, устранения дефектов, получающихся в процессе производства. Одним из таких способов является термическая обработка рельсов.

Как следует из сказанного выше, основными дефектами рельсов являются: 1) трещины, которые можно разбить на две категории: а) появляющиеся в результате внешних дефектов и б) обра-

зующиеся внутри рельсов; 2) хладноломкость; 3) смятие стыков; 4) быстрый износ головки по поверхности катания.

Разумеется, не все эти дефекты можно устранить термической обработкой. Нельзя, например, устранить трещин, развивающихся от наружных пороков.

Перечисленные выше дефекты рельсов имеют различный характер, следовательно, должны быть различны и применяемые методы термической их обработки. Эти методы можно разбить на три основные категории в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями:

1) улучшение микроструктуры с целью повышения износоустойчивости поверхности катания головки, что достигается путем сорбитизации;

2) улучшение микроструктуры концов рельсов путем закалки их для повышения стойкости стыка;

3) предупреждение образования внутренних напряжений и трещин в рельсах путем замедленного охлаждения их; эта задача решается также в процессе нормализации рельсов.

Здесь следует отметить, что термическую обработку рельсов стали применять недавно. Она до сих пор еще не вышла из стадии исследования с целью нахождения оптимального метода ее, так как до настоящего времени такого еще нет, несмотря на то, что существующие методы имеют довольно широкое применение.

Рассмотрим отдельно каждый из существующих методов термической обработки рельсов.

**Сорбитизация.** Этот метод термической обработки рельсов начали применять раньше всех. Суть его заключается в сплошной закалке с прокатного нагрева головки рельса водой, путем обрызгивания или погружения, с последующим самоотпуском за счет внутренней теплоты. Для предупреждения искривления рельс удерживается в специальных зажимах, вследствие чего в металле возникают внутренние напряжения, которые частично гасятся за счет более быстрого охлаждения остальной части рельса. В результате такой обработки получается сорбитная структура головки рельса, повышается временное сопротивление и предел упругости.

Известны два варианта сорбитизации: методом обрызгивания головки водой и методом погружения головки рельса в водяную ванну.

Аппарат для обрызгивания головки водой состоит из двух частей — верхней и нижней, разделенных перегородкой (рис. 148). В верхней части находится вода; уровень ее зависит от положения грузов *а*, которое устанавливается вручную. Грузы висят на тросах. В нижнюю часть резервуара нагнетается под давлением воздух, который служит для распыливания воды, спускающейся по трубкам *б* в пульверизаторы, находящиеся на дне резервуара. Рельс после распиловки устанавливается на пяту и посредством тяг прижимается к специальным упорам для предупреждения искривле-

ния при замачивании головки. Обрызгивание рельса водой продолжается около 1 мин., причем температура на поверхности головки снижается до 500—600°, после чего происходит самоотпуск.

Опыты по сорбитизации рельсов проводились на наших заводах — им. Дзержинского, им. Петровского и Серовском в период 1925—1933 гг., но в производство внедрены не были.

Замедленное или контролируемое охлаждение рельсов. Этот метод термической обработки рельсов самый распространенный. Он заключается в том, что рельсы после прокатки охлаждаются на стеллажах до температуры 385—540°, после чего по 9—14 шт. снимаются магнитными кранами и загружаются в короба с теплоизоляцией, вмещающие до 100 т рельсов, где охлаждаются до 100—150°, а затем вынимаются и охлаждаются на воздухе. В течение всего времени охлаждения температура в коробах регистрируется пирометрами. На рис. 149 показаны короба одного из рельсопрокатных заводов.

Несмотря на то, что метод впервые был введен в 1931 г., изучение его продолжается еще и до сих пор. Главный недостаток его заключается в неравномерном остывании рельсов, находящихся в различных местах короба. Так, остывание рельсов, находящихся в нижнем ряду, с 450 до 150° требует всего 2 час., между тем как для рельсов верхних рядов требуется до 24 час.

На время охлаждения рельсов в коробах влияют следующие факторы:

- 1) продолжительность загрузки короба, которая может длиться около 1 часа, и естественно, что в течение этого времени нижние ряды успевают уже частично остыть,
- 2) положение рельса в коробе,
- 3) нахождение данного короба с края или в середине ряда,
- 4) степень изоляции короба.

В настоящее время установлено минимальное время охлаждения рельсов в коробе 10 час., практически же оно достигает 24 час., а в среднем равно 16 час.

Хотя метод замедленного охлаждения рельсов в коробах и дает несколько неровные результаты, однако, исследования таких рельсов, уложенных в пути, указывают на положительное влияние замедленного охлаждения на качество их. Этим объясняется то

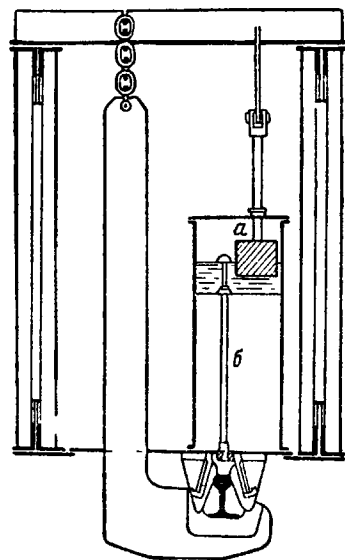


Рис. 148. Аппарат для сорбитизации рельсов методом обрызгивания

обстоятельство, что до настоящего времени этот метод термообработки рельсов является почти единственным.

Нормализация впервые была осуществлена в 1936 г. исходя из предположения, что рельсы с улучшенной структурой будут менее склонны к образованию поперечных трещин. Вначале схема термообработки включала охлаждение рельсов на стеллажах



Рис. 149. Короба для замедленного охлаждения рельсов

до температуры 500—600°, последующий нагрев в специальной печи до температуры выше точки  $A_3$  и охлаждение — сначала быстрое путем обдувки воздухом, затем замедленное на стеллажах. Обработанные таким путем рельсы оказались, однако, неудовлетворительными, так как в них появлялись трещины во время эксплуатации. Поэтому с 1938 г. в процесс нормализации была введена дополнительная выдержка при температуре 430—540° в течение 2,5 час. до того, как они загружаются в печь. Рельсы, прошедшие такой видоизмененный процесс термической обработки, не показали каких-либо дефектов в эксплуатации.



Процесс термообработки протекает следующим образом. После порезки пилами рельсы охлаждаются и выдерживаются в течение 2,5 час. при температуре 430—540°, затем группами по 6—8 шт., в зависимости от сечения их, поступают к загрузочному рольгангу, который является продолжением рольганга печи. Печь (рис. 150)

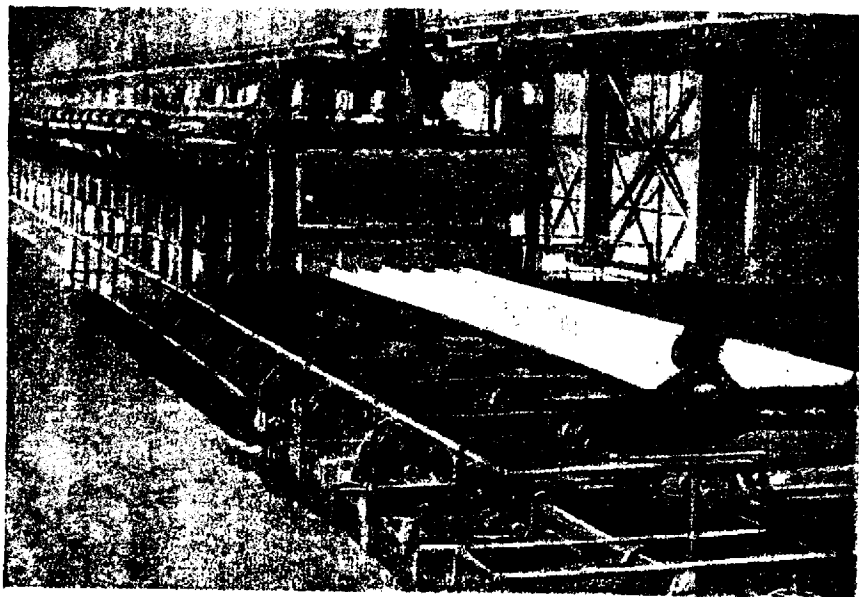


Рис. 150. Печь для нормализации рельсов

имеет длину около 77 м, ширину внутри — 2,9 м. В печи размещается 6 групп по 8 рельсов, или всего 48 рельсов с расстоянием между группами около 750 мм. Под печи состоит из 63 роликов жароупорной стали диам. 380 мм, приводимых в движение цепями с автоматической регулировкой движения в соответствии с работой печи. Чтобы ролики не прогибались, а рельсы имели равномерный нагрев, ролики в печи медленно качаются.

Печь имеет по длине 8 зон и обогревается 62 горелками, по 31 горелке с каждой стороны. Рельсы из печи выходят при температуре около 850—870° и после этого охлаждаются на стеллажах до нормальной температуры.

В результате нормализации получается более мелкое зерно, возрастает вязкость металла и гасятся внутренние напряжения в металле рельсов.

**Закалка концов рельсов.** Концы рельсов работают в наиболее неблагоприятных условиях по сравнению с остальной частью их: они подвергаются ударным воздействиям колес проходящих поездов, вследствие чего в стыках головки рельсов легко

расплющиваются, особенно при сравнительно мягком металле. Поэтому в последние годы стали применять закалку поверхности головки у концов рельса на некоторую глубину.

Наиболее простым методом закалки концов рельсов является обрызгивание головки водой с прокатного нагрева. Для этого на концы рельсов, поданных после распиловки на горячие стеллажи (рис. 151), надеваются специальные водяные коробки (рис. 152),

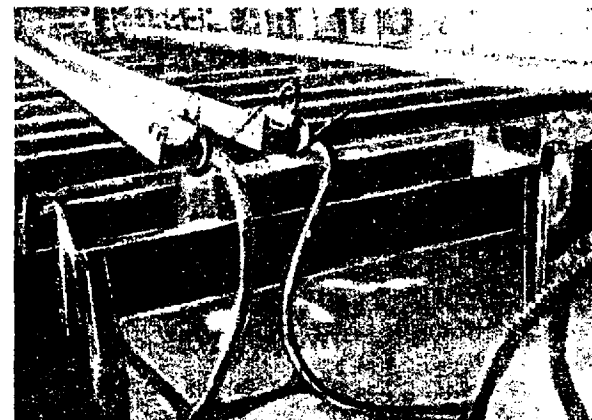


Рис. 151. Закалка концов рельсов

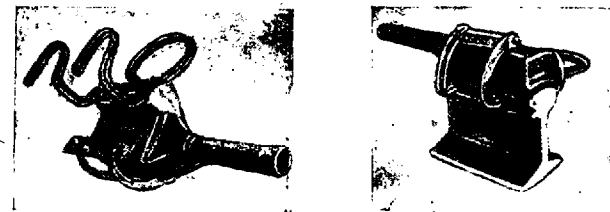


Рис. 152. Коробка для закалки концов рельсов

имеющие отверстия, сквозь которые головки рельсов обрызгиваются водой в течение 25—35 сек. После этого происходит самоотпуск металла за счет внутренней теплоты. В результате получается слой закаленного металла на глубину 6—8 мм, с твердостью 300—360 единиц по Бринелю на поверхности и 250—260 единиц в переходной зоне.

Закалка концов с прокатного нагрева может быть эффективно применена для тех рельсов, которые не проходят термической обработки другого вида, например, нормализацию или замедленное охлаждение. В первом случае, т. е. при нормализации, для закалки концов можно использовать тепло нагрева рельса в печи, осу-

шествя самый процесс закалки обдувкой сжатым воздухом. Закалка же концов рельсов, прошедших замедленное охлаждение, производится после отделки их. В этом случае концы рельсов нагреваются газовой горелкой или токами высокой частоты и обрызгиваются водой.

## 12. Прокатка балок

Рассмотрим прокатку балок нормального типа, имеющих уклон внутренних поверхностей полок 14%, как наиболее характерного фасонного профиля, так как прокатка остальных видов этих профилей — швеллеров, шпунтов, тавров и пр. — производится по аналогичным схемам. Методы прокатки балок на разных станах несколько различны, почему ниже и рассмотрены отдельно.

Реверсивные станы. Как и рельсы, балки прокатываются с одного нагрева, причем вес слитка берется различным, в зависимости от размера прокатываемого профиля. Так, при прокатке легких балок, например, высотой 220 мм, с наибольшей окончательной длиной 100 м вес слитка берется в пределах 3—3,5 т. При более тяжелых балках вес слитка может быть увеличен до 5—6 т.

На блуминге слитки обжимаются в блумы обычно прямоугольного сечения для всех профилей. Фасонные калибры располагаются в клетях рельсобалочного стана. Число пропусков в фасонных калибрах различно и практически для отдельных номеров балок равно: для балок № 60—40 от 11 до 13, для балок № 36—27 от 9 до 11, для балок № 24—20 до 9.

Балки № 60—36 прокатываются таким образом, что в первом фасонном калибре полоса делает три пропуска, в связи с чем верхний валок подымается до наибольшей высоты около 150 мм.

Первый калибр для балок почти всех размеров выполняется с глубоким врезом в виде клина. Только для наиболее крупных балок — № 60 и 55 — врез в первом калибре делается с более пологим очертанием.

На рис. 153 представлена схема калибровки валков для прокатки балок № 60 и 55 в 11 пропусков, причем пропуски 1—5 являются общими для обоих размеров. Средняя вытяжка за все пропуски составляет 1,221.

Калибровка валков выполняется таким образом, что валки черновых и подготовительных клетей являются комбинированными для нескольких профилей. Например, калибры валков первой клетки делаются общими для балок и швеллеров № 27 и 30. Вторая клеть включает два комплекта валков, отдельных для балок и швеллеров. В третьей клетке имеется четыре комплекта валков, отдельных для каждого профиля.

Резка на мерные длины производится почти исключительно в горячем состоянии пилами, и только самые короткие размеры вырезаются в холодном виде пилами или ножницами.

При поступлении на горячие стеллажи балки кантуются на ребро для лучшего использования площади стеллажей. Для правки балок применяются те же роликовые машины, на которых правятся и рельсы.

Метод прокатки балок на станах трио характеризуется следующим:

1. Прокатка всех профилей производится в два нагрева.

2. Все размеры балок прокатываются из слитка одного веса, разрезаемого после прокатки на несколько частей, идущих для подогрева в печи.

3. Конечная длина прокатываемых полос не превышает 40—50 м, что вполне возможно при различных сечениях и весе блумов.

4. Для прокатки балок обычно применяются станы (рис. 134, 135) с дифференцированными размерами валков, а именно: первые пропуски производятся в черновой реверсивной клетке дуо с валками диам. 810—915 мм, последующие — в клетях трио с валками диам. 740—850 мм. На таких станах прокатывают балки высотой от 180 до 610 мм.

5. Для балок несколько меньшего размера применяются более легкие балочные станы — с последовательным расположением клетей и трио с валками  $\varnothing$  450—650 мм.

6. Балки высотой до 300 мм прокатываются из блумов прямоугольного сечения, балки свыше этого размера — из фасонных блумов, получаемых на блуминге, для чего на этом последнем применяются валки, имеющие специальный фасонный калибр (рис. 154).

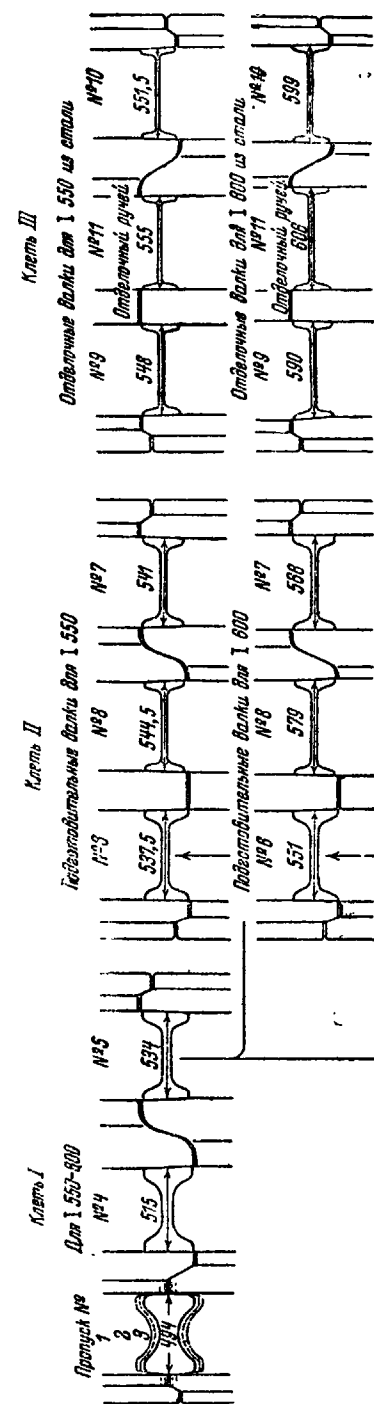


Рис. 153. Калибровка балок № 60 и 55 на реверсивном стане дуо

Для примера рассмотрим прокатку балки № 55 на рельсобалочном стане трио из слитка  $710 \times 710$  мм весом 7 т. На блуминге за первые 4 пропуска на гладкой бочке сечение слитка уменьшается до  $550 \times 600$  мм. Далее слиток кантуется и высотой 600 мм задается в фасонный калибр шириной 570 мм. После четырех пропусков калибр заполняется настолько, что дальше металл

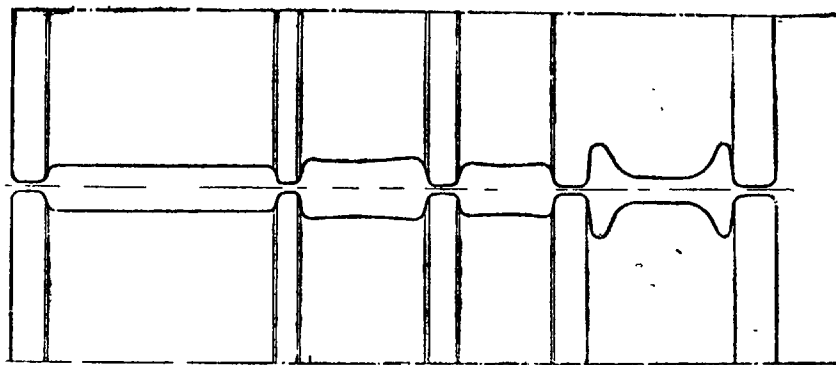


Рис. 154. Валки блуминга для прокатки крупных балок

может образовать заусенцы в местах разъема, поэтому слиток кантуется и делает два ребровых пропуска на гладкой бочке для уменьшения ширины. Затем слиток вновь пропускается 3 раза в фасонном калибре и получает окончательные размеры — ширину 570 мм, толщину шейки 100 мм при площади поперечного сечения  $1000 \text{ см}^2$ . Таким образом, общее число пропусков в блуминге составляет 13.

После обрезки концов и порезки на части блумы поступают в подогревательные печи, затем на рельсобалочный стан, где прокатываются по схеме, изображенной на рис. 155, с средней вытяжкой за пропуск 1,120. Этот коэффициент значительно ниже того, который принят при прокатке такой же балки на реверсивном стане. Если же взять все фасонные пропуски, включая и те, которые выполняются на блуминге, то средний коэффициент вытяжки уменьшится до 1,122.

Таким образом, прокатка балок на реверсивных станах производится с более энергичной деформацией, чем на станах трио. Такая разница в степени деформации соответствует и температурному режиму при прокатке на том и другом станах. На реверсивном стане балки прокатываются значительной длины и в один нагрев; поэтому число пропусков должно быть возможно меньше, чтобы прокатка заканчивалась при температуре около  $950^\circ$ . На стане трио при двух нагревах и относительно коротких длинах

увеличенное число пропусков вполне допустимо, причем в большинстве случаев температура конца прокатки бывает не ниже  $1000^\circ$ .

Итак, на реверсивном стане балки прокатываются с более высокими степенями деформации и при более низких температурах, чем на станах трио. Процесс прокатки балок протекает в условиях значительной неравномерности деформации в различных частях профиля, причем неравномерность тем выше, чем выше степень деформации. Поэтому, естественно, при прокатке на реверсивном стане неравномерность деформации больше, чем на стане трио. Отсюда, как неизбежное следствие, балки, полученные на реверсивных станах, имеют более значительные внутренние напряжения, чем прокатанные на станах трио.

После прокатки на станах трио балочные полосы режутся в горячем состоянии на кратные длины, а дальнейшая порезка на окончательные размеры производится в холодном состоянии. Поэтому чаще всего полосы по выходе из стана режутся на 2—3 части.

Отделочная для балок и склад их при рельсобалочных станах размещаются в особые здания. Отделочная оборудуется роликовой правильной машиной, ножницами и пилами для холодной резки.

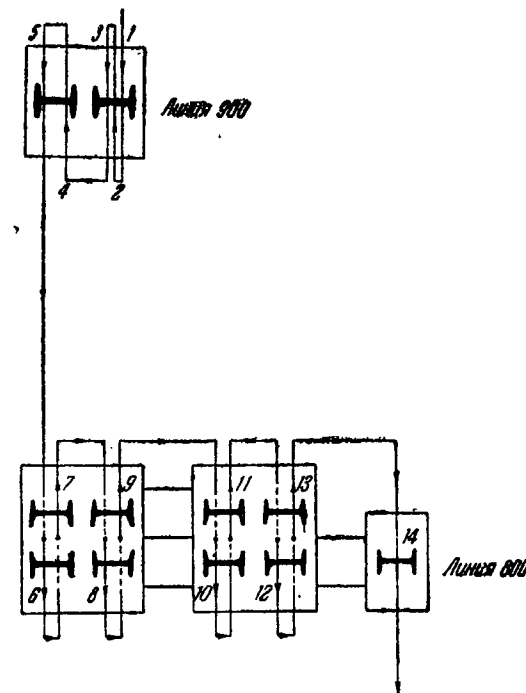











Рис. 155. Схема прокатки балок № 55 на стане трио

### 13. Производительность рельсобалочных станов

При определении производительности рельсобалочных станов приходится рассматривать отдельно прокатку рельсов и прокатку балок. При прокатке рельсов производительность стана мало меняется, так как рельсы всех типов обычно выкатываются с оди-



№ пропусков	Форма калибра	Площадь поперечного сечения см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Средняя скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек	Паузы сек	№ клетей
0		378	—	15,3	—	—	—	—
1		305	1,24	19,0	3,0	6,3	7,5	1
2		254	1,20	22,6	3,0	7,5	4,5	1
3		198	1,28	29,0	3,5	8,3	7,5	1
4		168	1,18	34,2	3,7	9,2	4,5	1
5		133	1,26	43,2	4,0	10,8	8,0	1
6		103	1,29	55,7	4,5	12,4	5,0	2
7		79,7	1,29	73,2	5,0	14,7	5,0	2
8		68,7	1,16	84,9	5,0	17,0	6,0	2
9		64,2	1,07	90,9	5,2	17,5	—	2
Сумма . . . . .		—	—	—	—	103,7	48,0	—

Годовая производительность станом получается: с одним двигателем:

$$83 \times 6500 \approx 540 \text{ тыс. т.}$$

с двумя двигателями:

$$161 \times 6000 \approx 966 \text{ тыс. т.}$$

Эти цифры необходимо увязать с цифрами производительности блуминга. При прокатке слитков весом 5,7 т в блумы 200×180 мм ориентировочно можно принять практическую часовую производительность блуминга 160 т, или 28 слитков. Рельсовый стан с одним двигателем может пропустить в час:

$$\frac{3600 \times 0,8}{152} = 19 \text{ слитков.}$$

Следовательно, реверсивный рельсовый стан с одним двигателем не может переработать всей продукции блуминга, и практически процесс прокатки должен быть организован таким образом, чтобы рельсовый стан принимал слитки от блуминга не подряд, а через один, т. е. стан должен перерабатывать половину слитков, пропускаемых блумингом, — 14 слитков в час. Значит, часовая производительность рельсового стана будет равна:

$$50 \times 12,5 \times 7 \times 14 = 61 \text{ т.}$$

Остальное количество слитков блуминг будет обжимать для других станом. Годовая производительность рельсового стана составит:

$$61 \times 6500 \approx 400 \text{ тыс. т.}$$

При двух двигателях рельсовый стан может иметь следующую производительность:

$$\text{в час} \dots 61 \times 2 = 122 \text{ т}$$

$$\text{в год} \dots 122 \times 6000 \approx 730 \text{ тыс. т.}$$








Стан трио. Схема производственного процесса при прокатке 50 кг рельсов представлена в табл. 33. Она составлена применительно к стану, изображенному на рис. 134, т. е. состоящему из двух линий — черновой дуо 900 и чистовой трио 800. Расчет ведется в соответствии с условиями прокатки — получением из одного бруса четырех рельсов по 12,5 м каждый. Общая длина рельсовой полосы, выходящей из стана, равна:

$$4 \times 12,5 \times 1,025 \times 1,015 = 52 \text{ м.}$$

Распределение времени по отдельным клетям получается следующее (в сек.):

Клеть	Машинное время	Паузы	Сумма
Первая . . . . .	22,0	40,0	62,0
Вторая . . . . .	20,5	35,0	55,5
Третья . . . . .	37,2	30,0	67,2
Четвертая . . . . .	15,7	—	15,7
Сумма	95,4	105,0	200,4

Таблица 33

№ пропусков	Форма калиброн	Площадь поперечного сечения см²	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Средняя скорость прокатки м/сек.	Время прокатки сек.	Пауза сек.	№ клетей
0		625	—	5,3	—	—	—	—
1		560	1,17	5,9	1,6	3,7	7,0	1
2		460	1,15	7,2	1,8	4,0	7,0	1
3		380	1,21	8,8	2,0	4,3	3,0	1
4		281	1,36	11,9	2,5	4,7	3,0	1
5		208	1,40	16,0	3,0	5,3	20,0	1
6		169	1,23	19,8	3,3	6,0	7,5	2

Продолжение табл. 33







№ пропусков	Форма калибра	Площадь поперечного сечения см²	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Средняя скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек.	Пауза сек.	№ клетей
7		146	1,16	22,8	3,3	6,9	7,5	2
8		133	1,10	25,1	3,3	7,6	20,0	2
9		103	1,29	32,4	3,3	9,8	5,0	3
10		79,9	1,29	41,8	3,3	12,7	5,0	3
11		68,7	1,16	48,6	3,3	14,7	20,0	3
12		64,2	1,07	52,0	3,3	15,7	—	4
Сумма . . .					—	95,4	105,0	—

Табл. 33 соответствует график, изображенный на рис. 156. Как видно из него, ритм прокатки определяется третьей клетью; теоретически он равен  $\sim 48$  сек.

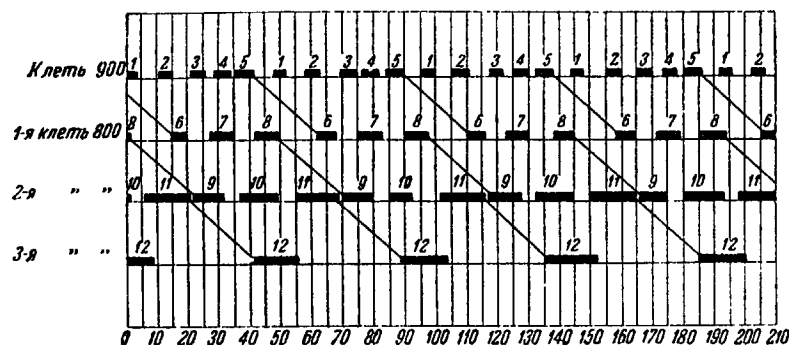


Рис. 156. График прокатки на рельсобалочном стане трио

Часовая производительность стана равна: технически возможная:

$$A = \frac{3600 \times 50 \times 50}{48} \approx 190 \text{ т};$$

практически возможная:

$$A_1 = 190 \times 0,8 = 152 \text{ т.}$$

Годовая практически возможная при 6000 час. работы:

$$152 \times 6000 \approx 910 \text{ тыс. т.}$$

Вычисленные цифры производительности относятся к рельсам весом 50 кг/м. При прокатке рельсов более легких типов, а также при прокатке балок производительность станов получается ниже. Для смешанной программы прокатки — 50-кг рельсов и балок — можно принять такую производительность станов (табл. 34).

Таблица 34

	Рельсы тыс. т	Балки тыс. т	Сумма тыс. т
Реверсивный стан с одним двигателем	250	120	370
Реверсивный стан с двумя двигателями	500	185	685
Стан трио	600	250	850

#### 14. Прокатка широкополочных балок

Сортамент. Балки с широкими полками прокатываются высотой от 100 до 1000 мм. Наибольший размер полки достигает чаще всего 300 мм, иногда 420 мм. Широкополочные балки основного типа прокатываются с параллельными полками, часть таких балок имеет уклон полки до 9%. Эти балки изготавливаются с максимальной высотой 750 мм.

Типы станов. Широкополочные балки с параллельными полками высотой до 200 мм можно прокатывать на обычных рельсобалочных станах, балки с большей высотой — только на универсальных станах. Широкополочные балки с наклонными стенками прокатываются на рельсобалочных станах дуо реверсивных с валками диаметром 950 мм и трио. Последние имеют сменные универсальные клетки.

Прокатка широкополочных балок с параллельными полками на универсальных балочных

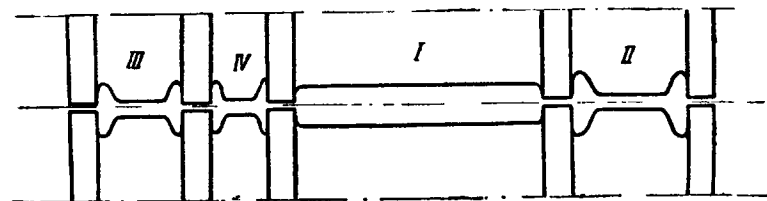


Рис. 157. Валки блуминга для прокатки широкополочных балок

станах. Широкополочные балки на универсальных станах прокатываются с одного и двух нагревов. Исходным материалом для прокатки служат слитки, вес которых колеблется в пределах от 3 до 20 т, находясь в зависимости от размеров прокатываемых балок.

Для прокатки балок высотой до 400—500 мм применяются слитки прямоугольного сечения, для прокатки балок больших размеров слитки имеют форму черновой балки.

После нагрева в колodцах слитки подаются к блумингу, на котором выполняется первая часть работы по образованию чернового профиля балки. Например, при прокатке балок высотой 800 мм из фасонного слитка с толщиной шейки 420 мм блуминг выпускает черновую балку с шейкой толщиной 60—90 мм. В соответствии с такой задачей блуминга на валках его размещается один плоский калибр и один или несколько фасонных балочных калибров (рис. 157), в зависимости от размера прокатываемого профиля. Плоский калибр служит: 1) для уменьшения сечения слитка в первых пропусках до таких размеров, которые необходимы при дальнейшей прокатке в фасонных калибрах, и 2) для осаживания слитка на ребро после прокатки в фасонных калибрах. Эти ребровые пропуски производятся для предупреждения образования заусенцев при переполнении калибра. Поэто-

му после каждых четырех пропусков в фасонном калибре дается два ребровых пропуска, в которых ширина слитка уменьшается для компенсации уширения его в последующих фасонных пропусках.

При такой калибровке валков длина бочки и диаметр их имеют большие размеры, чем у обычных блумингов. Например, встречается блуминг с валками  $\varnothing 1370 \times 3050$  мм, с приводом каждого валка от отдельного реверсивного мотора 5000 л. с.,  $n = 40/80$ .

Число пропусков при прокатке на блуминге достигает значительной величины — до 35 при прокатке наиболее крупных балок (высотой 800—1000 мм). Для примера приведем порядок прокатки слитка для балки высотой 400 мм:

Плоский	калибр . . . . .	2	пропуска	1	кантовка
Плоский	» . . . . .	4	»	1	»
1-и фасонный	» . . . . .	4	»	1	»
Плоский	» . . . . .	2	»	1	»
2-фасонный	» . . . . .	4	»	1	»
Плоский	» . . . . .	2	»	1	»
2-фасонный	» . . . . .	4	»	1	»
Плоский	» . . . . .	2	»	1	»
2-фасонный	» . . . . .	1	»	~	»

Всего . . . 25 пропусков 8 кантовок

После прокатки на блуминге слиток поступает к ножницам, на которых обрезаются концы, затем направляется в универсальный балочный стан.

Для прокатки балок с широкими параллельными полками высотой до 800—1000 мм необходимо иметь минимально две

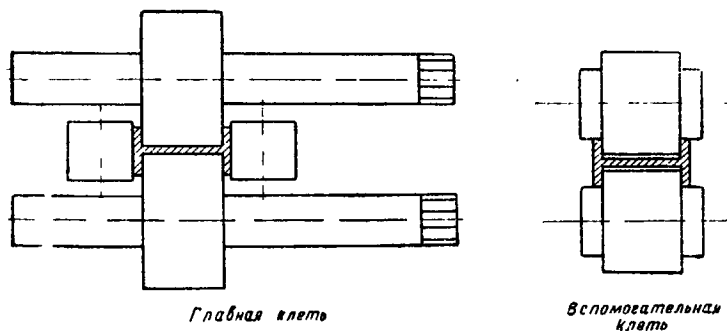


Рис. 158. Схема прокатки балок на универсальном стане

клетки — главную и вспомогательную. Главная клетка состоит из одной пары горизонтальных и одной пары вертикальных валков. Горизонтальные валки приводятся в движение от реверсивного двигателя, вертикальные вращаются вхолостую. Вспомогательная клетка представляет собой обычную реверсивную клетку дуо с приводными валками или универсальную клетку.

В главной клетке горизонтальные валки обрабатывают шейку и внутренние поверхности полок, вертикальные — наружные поверхности полок. В вспомогательной клетке обрабатываются только кромки полок (рис. 158).

Обычно прокатка ведется таким образом, что в одном направлении, например, в нечетных пропусках, балка обрабатывается только в главной клетке, в другом направлении (в четных пропусках) балка обрабатывается одновременно в обеих клетках. Таким образом, в этих последних пропусках происходит непрерывная прокатка.

Горизонтальные валки обеих клеток работают с перемещением в вертикальном направлении после каждого пропуска, вертикальные валки имеют горизонтальное перемещение, достигающее значительной величины. Например, для балок высотой от 610 до 915 мм общее обжатие по ширине составляет около 250 мм.

Расположение универсальных балочных станов и их производительность. Главная и вспомогательная клетки располагаются рядом и образуют один общий комплект клеток. Наиболее простой состав оборудования имеет стан, включающий две универсальные клетки — главную и вспомогательную, приводимые от реверсивного мотора с наибольшим крутящим моментом 170 тм. Производительность этого стана можно принять в 300 тыс. т в год.

Стан, изображенный на рис. 159, имеет два комплекта клеток, каждый из которых включает главную и вспомогательную кле-

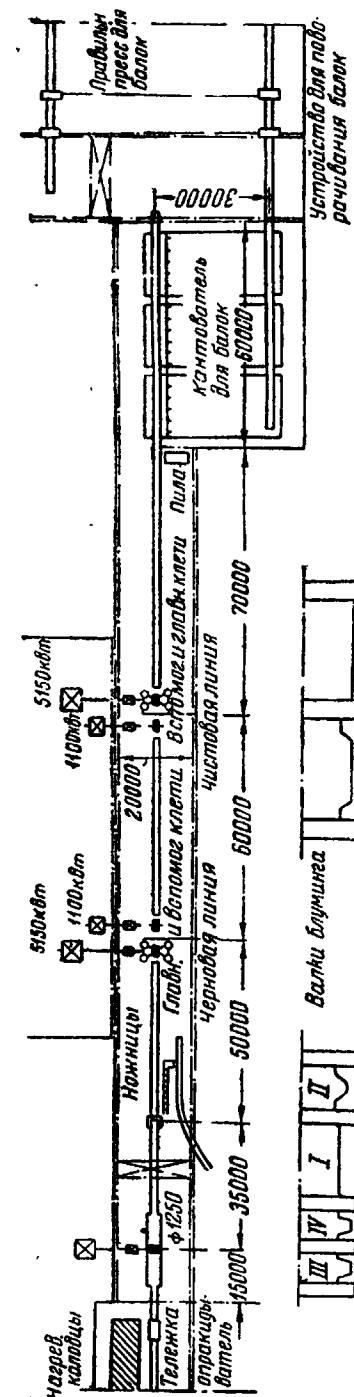


Рис. 159. Схема универсального балочного стана



ти. Годовая производительность такой установки может достигать 450 тыс. т.

Стан на рис. 160 отличается от предыдущего тем, что в нем имеется еще третья линия с одной универсальной клетью, в которой производится последний чистовой пропуск. Слиток обжимается на блуминге 1370 мм до черновой балки, которая после обрезки концов на ножницах поступает в балочный стан. В некоторых случаях блумы после ножниц поступают предварительно в подогревательные печи, затем в балочный стан. Он расположен в три линии — черновую, подготовительную и чистовую. Горизонтальные валки первых двух линий имеют диаметр 1320 мм и приводятся в движение от реверсивных моторов 6000—7000 л. с.,  $n = \pm 120$ . В отделочной линии горизонтальные валки приводятся мотором переменного тока мощностью 3000 л. с.,  $n = 83$ . Для привода валков вспомогательных клетей имеются реверсивные моторы 2000 л. с. Годовая производительность такого стана может достигать 600 тыс. т.

#### 15. Техничко-экономические показатели производства рельсов и балок

Расход металла. Выше приводилась характеристика наружных дефектов рельсов и разделение этих последних по виду на три категории: 1) первый сорт, 2) второй сорт инспекторский и 3) второй сорт заводской.

При хороших результатах производства в наших условиях соотношение между отдельными категориями выражается следующими средними величинами:

Первый сорт	80—85%
Второй инспекторский	2—3%
Второй заводской	13—18%

При рассмотрении схемы прокатки рельсов на реверсивном стане были приняты следующие потери металла: 1) в рельсоотделочной и на рельсовом стане 2,5% от веса готовых рельсов, 2) на блуминге 21% от веса слитков.

Этими цифрами мы пользовались для определения веса слитков. Но они не включают части потерь, имеющих место в производстве:

1) брака и недокатов на блуминге и рельсобалочном стане в количестве 0,5%; хотя недокаты бывают на обоих станах, но для удобства учета мы отнесем их к рельсобалочному стану;

2) пробных кусков рельсов, отрезаемых для копровых испытаний;

3) потерь на рубку концов в рельсоотделочной.

На потери по двум последним категориям приходится около 1%.

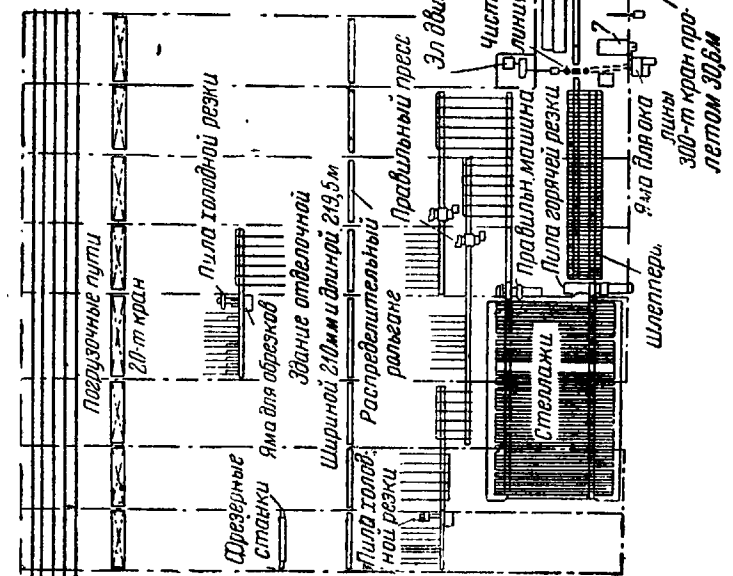
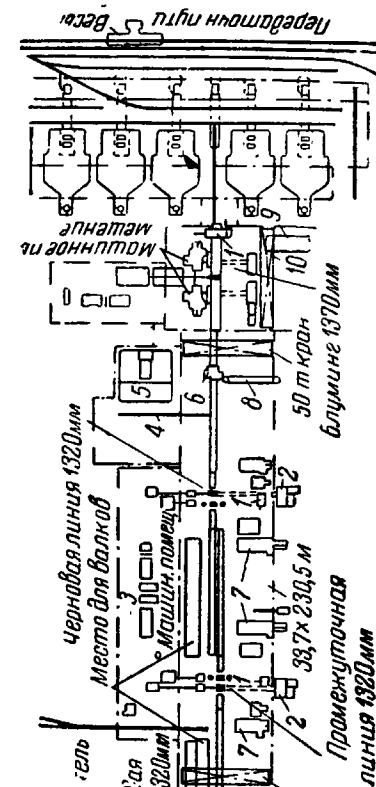


Рис. 160. Схема цеха для прокатки широкополочных балок  
1 — площадка управления; 2 — яма для окатки; 3 — преобразователь; 4 — поперечное перемещение шпунта; 5 — подогревательная печь; 6 — ножницы; 7 — сменные клетни; 8 — конвейер для обрезков; 9 — место для валков; 10 — 100-т кран пролетом 35 м.



Таким образом, расход металла можно принять:

рельсоотделочная и рельсовый стан:

$$1,025 + 0,005 + 0,01 = 1,040;$$

блуминг:

$$100 : 79 = 1,266,$$

прокатанные рельсы:

$$1,266 \times 1,040 = 1,316;$$

рельсы первого сорта:

$$1,316 : (0,80 \div 0,85) = 1,645 \div 1,542.$$

На рельсовом стане трио, на котором прокатка ведется в два нагрева, необходимо добавить потери на угар в 1,5% от всада. В соответствии с этим расход металла на этом стане будет следующий:

блуминг:

$$1,266;$$

рельсоотделочная и рельсовый стан:

$$1,040 : 0,985 = 1,056;$$

прокатанные рельсы:

$$1,266 \times 1,056 = 1,336;$$

рельсы первого сорта:

$$1,336 : (0,80 \div 0,85) = 1,670 \div 1,572.$$

Расход металла при прокатке балок включает потери на блуминге и рельсовом стане. Подавляющее количество балок и других фасонных профилей прокатывается из кипящей стали. Поэтому расход металла на блуминге можно принять равным 1,120, учитывая часть слитков спокойной стали. При отделке балок потерь металла нет, но, с другой стороны, отходы в обрезки здесь выше, чем при производстве рельсов, так как приходится вырезать балки разнообразной длины. Практически коэффициент расхода металла при прокатке балок на чистовом стане можно принять:

реверсивный стан . . . . . 1,045

стан трио . . . . . 1,060

Расход слитков на 1 т балок составит:

реверсивный стан . . . . .  $1,120 \times 1,045 = 1,170$

реверсивный стан трио . . . . .  $1,120 \times 1,060 = 1,187$

Расход топлива. На реверсивном рельсобалочном стане топливо для подогрева металла не расходуется. На стане трио для подогревательных печей требуется 150 000 кал условного топлива на 1 т прокатанных рельсов и 170 000 кал на 1 т прокатанных балок.

Расход энергии. По данным практики одного завода расход энергии в киловатт-часах на 1 т прокатанных рельсов и балок можно определить по кривым, представленным на рис. 161. Здесь по оси абсцисс отложены удлинения, с которыми прокатывается тот или иной профиль, по оси ординат — расход энергии. Величина удлинения зависит как от поперечного сечения профиля, так и от величины исходного блума. Эти кривые состав-

лены на основе работы рельсобалочного стана, состоящего из черновой реверсивной клети и чистовой линии трио.

В табл. 35 представлены цифры расхода энергии при прокатке различных профилей на рельсобалочном стане такого же типа.

Таблица 35

Профиль	Вес 1 м кг	Размеры исходного блума мм×мм	Вес 1 м блума, кг	Удлинение общее	Расход энергии на тонну квт-ч
Балка 254 мм . . . . .	37,8	250×200	383	10,2	50,0
„ 305 „ . . . . .	47,0	Фасонный	473	10,2	44,5
„ 610 „ . . . . .	120,0	То же	595	5,0	37,0
Швеллер 254 мм . . . . .	22,8	250×200	383	16,8	62,4
Накладка . . . . .	23,8	177×150	203	8,9	46,0
Круглая сталь 76 мм . . . . .	35	190×190	275	7,9	36,0
Рельсы 40-кг. . . . .	40	230×200	352	8,8	40,0
„ 45 „ . . . . .	45	230×200	352	7,8	36,0
„ 50 „ . . . . .	50	230×200	352	7,1	34,0

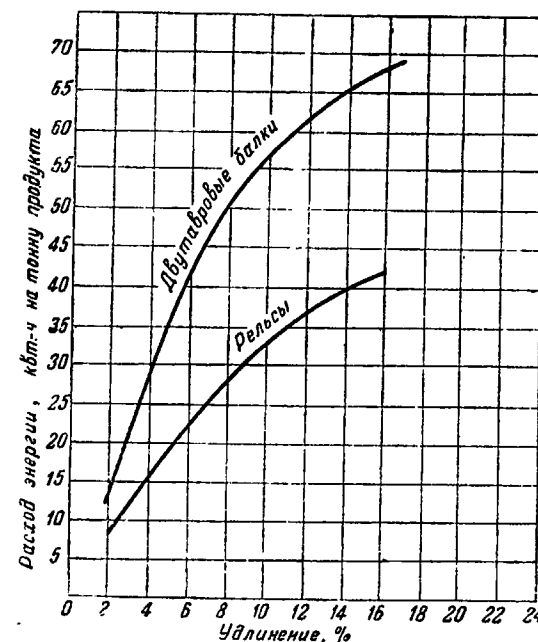


Рис. 161. Кривая расхода энергии на рельсобалочном стане трио

Эти цифры получаются несколько выше тех, которые дают кривые рис. 161. Возможно, что сказывается влияние бронзовых подшипников на последнем стане.

Приведенные цифры относятся к главным приводам и питающим их мотор-генераторам. К ним надо добавить 12 квт-ч на 1 т, расходуемых для вспомогательных механизмов станков и для отделки рельсов. Для балок и других фасонных профилей эта цифра равна 10 квт-ч на 1 т.

Расход воды на тонну прокатываемого металла на рельсобалочном стане трио можно принять равным 5 м³.

Расход валков для рельсобалочного стана трио приведен в табл. 36.

Таблица 36

Клети	Вес одного валка кг	Число валков в стане	Вес валков в стане кг	Число переточек	Прокатывается металла, т		Расход валков на тонну металла кг
					за одну переточку	за все переточки	
Черновая дуо . .	15 000	2	30 000	5	12 000	60 000	0,5
1-я трио . . . . .	8 000	3	24 000	7	6 000	42 000	0,6
2-я . . . . .	8 000	3	24 000	7	4 000	28 000	0,9
Дуо . . . . .	6 000	2	12 000	7	2 000	14 000	0,8
Сумма .	—	10	90 000	—	—	—	2,8

## ГЛАВА 2

## ПРОКАТКА СОРТОВОГО МЕТАЛЛА

## 1. Введение

В эту группу прокатных изделий входят профили и размеры, которые получаются на так называемых сортовых станах. Хотя большая часть этих профилей имеет ту же форму, что и профили, прокатываемые на рельсобалочных станах, однако, имеется существенное различие между этими последними и сортовыми станами в отношении превалирования в сортаменте тех или иных видов готового продукта. Так, на рельсобалочных станах, как показывает самое название их, прокатываются преимущественно рельсы, балки и вообще фасонные профили. Среди же наименьших размеров сортового металла, напротив, превалируют профили с простым очертанием — круг, квадрат, полоса. Если идти в направлении от крупных профилей к мелким, то изменение в сортаменте их можно характеризовать постепенным относительным уменьшением числа фасонных профилей и увеличением числа простых.

В практике еще до сих пор сохранилось деление сортового металла на три категории — крупносортный, среднесортный и мелкосортный. Это деление совершенно условно и произвольно, так как не дает точного представления о характере всех профилей, входящих в ту или иную категорию сортового металла.

Деление станков на крупносортные, среднесортные и мелкосортные также неточно, потому что в разных случаях на одних и тех же станах можно прокатывать различный сортамент профилей и размеров. Например, линейный стан 300 считается мелкосортным, а стан 300 нового типа прокатывает большую часть размеров, относящихся к среднесортному металлу.

Поэтому наиболее правильно характеризовать такие станы по диаметру валков и прокатываемому сортаменту.

В практике на станах с валками того или иного диаметра прокатывается весьма широкий диапазон профилей и размеров.

В табл. 37 приведен возможный сортамент для станков различных размеров; конечно, не все станы прокатывают полностью такой сортамент, но указанные здесь пределы на практике встречаются.

Таблица 37

Станы новых типов	Линейные станы	Круглая сталь	Квадратная сталь	Полосовая сталь (ширина)	Угловая сталь	Балки	Швеллеры	Тавровая сталь (высота)	Рельсы рудничные
Стан 250	—	8—38	8—35	До 65	До 40×40	—	—	До 30	—
—	Стан 250	8—18	8—18	• 40	До 30×30	—	—	—	—
Стан 300	—	19—60	19—50	• 100	До 75×75	—	50—65	До 60	—
—	Стан 300	16—30	16—30	• 60	До 40×40	—	—	• 30	—
Стан 350	—	25—90	25—75	• 150	До 100×100	80—100	50—100	• 100	До 8 кт
—	Стан 350	19—45	19—45	• 70	До 60×60	—	50—65	• 60	• 6
Стан 450	—	40—125	40—125	• 200	До 120×120	80—160	100—160	• 160	• 15
—	Стан 450	35—100	35—100	• 150	До 75×75	80—120	100—120	• 75	• 11
Стан 600	—	50—150	50—150	• 350	До 150×150	120—300	120—300	• 220	• 24
—	Стан 600	50—125	50—125	• 350	До 130×130	120—200	120—180	• 180	• 24
—	Стан 700	80—150	80—150	• 350	До 150×150	160—300	140—300	• 220	• 24

Примечание. Размеры всех профилей, за исключением рельсов, даны в миллиметрах.

Исходным материалом для прокатки сортового металла на станах новых типов являются исключительно заготовки и блюмы, которые имеют следующие типовые размеры:

38×38×9000 мм . . . . .	Получаются из 2-й группы непрерывного заготовочного стана	Стан 250
44×44×9000 „ . . . . .		Стан 250
50×50×9000 „ . . . . .		Стан 250
65×65×9000 „ . . . . .		Стан 250
75×75×9000 „ и 4500 мм		Станы 250 и 300
90×90×9000 „ и 4500 мм		Стан 300
100×100×9000 и 4500 мм	Получаются из 1-й группы непрерывного стана	Станы 300 и 350
115×115×9000 и 4500 „		Станы 300 и 350
125×125×9000 и 4500 „		Станы 300 и 350
150×150×4500 мм . . . . .	Получаются из 1-й группы непрерывного стана и с блюминга	Станы 350, 450 и 600
180×180×4500 „ . . . . .		Станы 350, 450 и 600
200×200×4500 „ . . . . .		Станы 450 и 600
250×250×4500 „ . . . . .		Стан 600

На станах линейного типа в качестве исходного материала применяют заготовки, блюмы и слитки, размеры которых чрезвычайно разнообразны.

Размеры валков. Прокатка сортового металла производится на станах с диаметром валков от 250 до 700 мм. Увязка

диаметров валков с прокатываемым сортаментом показана в табл. 37. Следует здесь отметить, что имеются станы с меньшими диаметрами валков, например 200 мм (8 дюймов), 230 мм (9 дюймов), но в последнее время станы устанавливаются с диаметром валков не менее 250 мм. Верхний предел диаметра валков для прокатки сортового металла, как такового, можно ограничить 600 мм, так как стан 700, как видно из табл. 37, с одной стороны, повторяет большую часть размеров стана 600, с другой — является в сущности уже балочным.

Отношение длины бочки валков к диаметру ( $\frac{L}{D}$ ) в линейных станах берется около 3, в новых станах — от 1,5 до 2,5. Этот последний показатель и определяет возможность применения в этих станах валков меньшего диаметра по сравнению с линейными станами при прокатке одних и тех же размеров сортового металла, так как вполне понятно, что изгибающий момент при короткой бочке валка меньше, чем при длинной, и следовательно, можно допустить и большее давление металла на валки (при большем профиле) без увеличения напряжений в них.

Материал валков. Для изготовления валков сортовых станов берется различный материал как для разных станов, так и для разных клетей в одном стане. Общая схема решения данного вопроса представляется в следующем виде. Для черновых клетей валки изготавливаются из стали литой или ковальной, для промежуточных — из полутвердого чугуна и для чистовых — из закаленного или полутвердого чугуна. Такое распределение валков разного материала по клетям одного и того же стана обосновывается разным характером процесса прокатки в отдельных клетях. В черновых пропусках точность профиля большой роли не играет, давление металла на валки велико, поэтому валки должны быть прочные. Этому условию удовлетворяют стальные валки. В промежуточных клетях стальные валки уже заметно вырабатываются, что отражается на точности профиля. С другой стороны, напряжения в валках еще сравнительно велики. Поэтому в указанных клетях наиболее целесообразно применять валки из полутвердого чугуна. Наконец, в чистовых клетях важнейшую роль играет износ валков, прочность же их при малых степенях деформации отходит на второй план. Поэтому здесь лучше всего брать валки из закаленного чугуна.

Подобное распределение материала для валков различных клетей имеет место в станах с диаметром валков до 300—350 мм, причем для наиболее крупных размеров круглого и квадратного профилей валки отливаются с закаленными калибрами, так как глубина закаленного слоя гладких валков обычно не превышает 30 мм, и следовательно, при круглом профиле с диаметром, например 60 мм, этот слой был бы сточен.

В станах более крупных для чистовых клетей обычно применяют валки из полутвердого чугуна, но и здесь имеется тенденция к переходу на валки с закаленными калибрами.

**Нагревательные печи.** Конструкция нагревательных печей при сортовых станах отличается значительным многообразием, если рассматривать все встречающиеся установки. Но для новых станов обычно применяются два основных типа нагревательных печей: 1) со сквозным проталкиванием заготовок или с торцевой выдачей (рис. 162) и 2) с боковой посадкой и выдачей заготовок (рис. 163).

Печи первого типа обычно применяются с шириной пода 5,5 м в соответствии с нормальной длиной заготовок 4,5 м. В большинстве случаев такие печи служат для нагрева заготовок сечением от  $100 \times 100$  мм и выше. Заготовки меньших сечений в таких печах нагреваются в сравнительно редких случаях. Длина пода печей с торцевой выдачей в настоящее время достигает 26 м, в соответствии с чем полезная площадь пода получается равной

$$4,5 \times 26 = 117 \text{ м}^2.$$

Часовая производительность этих печей достигает 50—60 т при холодном всаде.

В печах второго типа, с шириной пода 9,5 м нагреваются заготовки длиной 9 м, сечением, в большинстве случаев, ниже  $100 \times 100$  мм. В некоторых случаях такие печи применяются для нагрева заготовок сечением до  $125 \times 125$  мм. Длина таких печей достигает 15 м, в соответствии с чем полезная площадь пода может достигать  $135 \text{ м}^2$  и часовая производительность — 60 т.

Те и другие печи строятся обычно с рекуператорами, в которых воздух подогревается до  $350\text{—}500^\circ$ . В качестве топлива применяется смесь доменного и коксового газа с теплотворной способностью 1800—2000 кал. При топливе с более высокой калорийностью можно обойтись без рекуператоров.

Новые печи с торцевой выдачей имеют три зоны нагрева и нижний обогрев, печи с боковой выдачей строятся с двумя зонами нагрева и без нижнего обогрева.

Печи с торцевой выдачей располагаются группами от одной до пяти таким образом, что они имеют общие рольганги — загрузочный и разгрузочный (рис. 164). Заготовки со склада грузятся краном на шлеперную решетку, откуда затем поступают по загрузочному рольгангу к соответствующим печам, в которые подаются толкателями. Ими же заготовка выталкивается на разгрузочный рольганг.

Печи с шириной пода 9,5 м в большинстве случаев располагаются таким образом, что расстояние между окном выдачи и первой клетью стана устанавливается в 2—2,5 м. При этих условиях часть заготовки долгое время остается в печи во время прокатки, сохраняя высокую температуру.

Заготовки подаются в печь через боковое окно тележкой или тягивающими роликами. Выдача заготовок осуществляется выталкивателями. Выталкиватель представляет собой квадратную

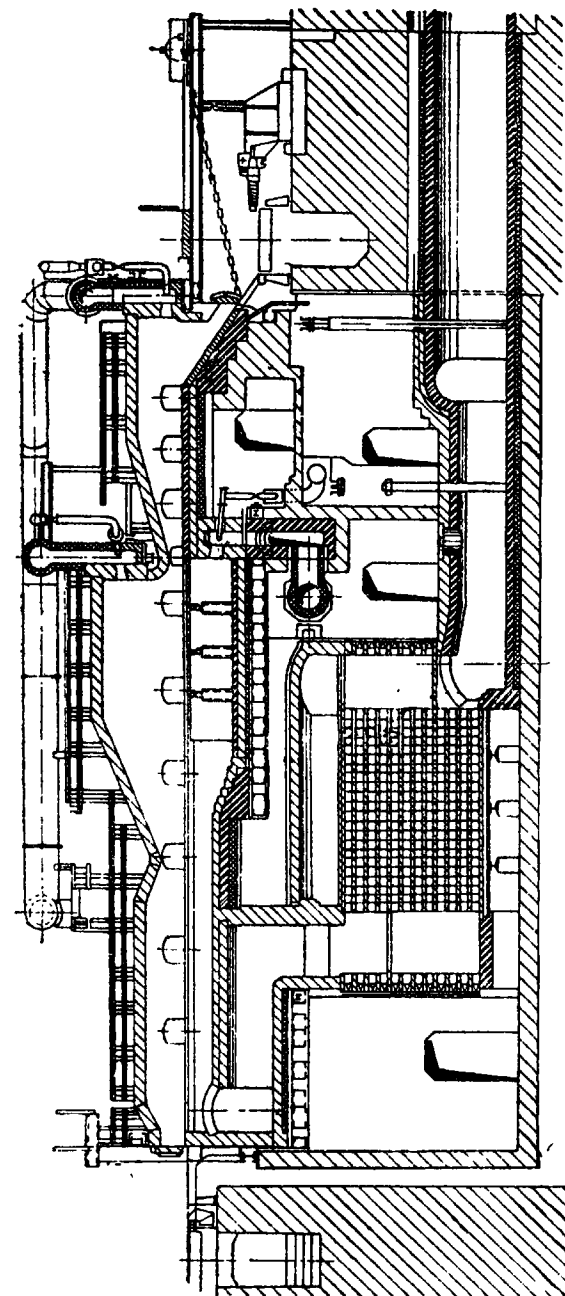


Рис. 162. Трехзонная нагревательная печь с торцевой выдачей



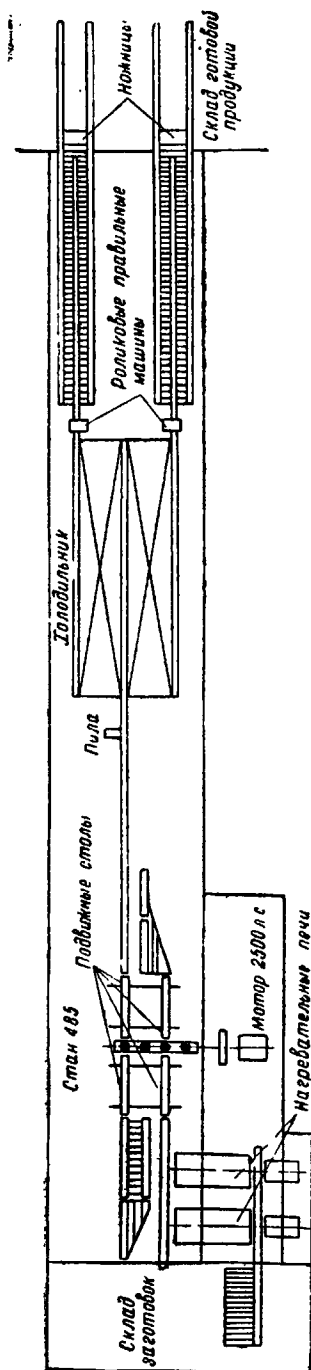


Рис. 165. Расположение стана 485 линейного типа

Станы линейного типа применяются для всех видов готового продукта, полунепрерывные станы работают обычно как пеллевые. На станах последних трех типов прокатку ведут в «полосах». Более подробная характеристика станом дана ниже при рассмотрении отдельных групп их.

## 2. Станы 600—450 линейного типа

Эти станы встречаются с диаметром валков через каждые 50 мм, т. е. 600, 550, 500 и 450 мм. Существуют два основных варианта расположения этих станом:

- 1) в одну линию и
- 2) в две линии.

Сортамент станом, имеющих две линии, шире, чем сортамент станом с одной линией, главным образом, в отношении фасонных профилей, так как обжимная клетка позволяет делать черновую профилировку в валках большего диаметра. Так, в стане 600 с расположением клетей в одну линию можно прокатывать балки высотой не более 220 мм, а при наличии отдельного обжима с валками диам. 750 мм высота выпускаемых балок увеличивается до 300 мм. Кроме того, на стане с отдельным обжимом можно прокатывать заготовки больших сечений, чем на стане с расположением в одну линию.

В чистовой линии чаще всего бывает 3—4 клетки, редко больше. Обжимная линия обычно имеет только одну клетку. Диаметр валков этой клетки в большинстве случаев на 150 мм больше диаметра валков чистовой линии, т. е. для стана 600 он равен 750 мм, для стана 450 равен 600 мм. Обжимная клетка конструируется, как клетка трио, редко как реверсивная дуо.

Ниже рассматриваются два примера таких станом линейного типа: 1) стан 485 с расположением в одну линию и 2) стан 600 с расположением в две линии.

**Стан 485 с расположением в одну линию (рис. 165).** Стан состоит из шестеренной клетки с валками диам. 460 мм и трех рабочих клетей с валками диам. 485 мм, из которых две трио и одна (чистовая) дуо. Валки приводятся в движение мотором постоянного тока мощностью 2500 л. с. Число оборотов валков в минуту 90—180. Скорость вращения валков 2,3—4,6 м/сек. Стан обслуживается катучими столами, конструкция которых аналогична конструкции столов, применяемых при рельсобалочных станом.

Для нагрева заготовок сечением от  $100 \times 100$  до  $200 \times 200$  мм и длиной 4,5 м служат две нагревательные печи с торцевой выдачей. Длина пода печей 15,2 м, ширина пода 5,5 м. Печи обогреваются смешанным газом. Производительность каждой печи 30 т в час. Стан прокатывает следующий сортамент:

Сталь круглую и квадратную . . . от 40 до 100 мм  
Сталь полосовую шириной . . . до 200 мм  
Сталь угловую . . . от  $60 \times 60$  до  $100 \times 100$  мм  
Балки и швеллеры высотой . . . от 80 до 180 мм

Число пропусков в большинстве случаев находится в пределах 7—11, в зависимости от прокатываемого профиля; низший предел относится к таким простым профилям, как круг и квадрат, высший — к балкам и швеллерам. Длина прокатываемых полос достигает 40 м максимум. В табл. 38 приведена схема прокатки балки № 18 и в табл. 39 — схема прокатки угловой стали  $75 \times 75 \times 10$  мм.

Таблица 38

№ пропусков	Форма калибров	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек.	Паузы сек.	№ клетей
0	Заготовка	225	—	4,5	—	—	—	—
1	Балочный	192	1,11	5,0	2,8	1,8	4,0	1
2	То же	163	1,17	5,8	2,9	2,0	3,0	1
3	»	136	1,20	7,0	3,1	2,3	4,0	1
4	»	111	1,23	8,6	3,2	2,4	3,0	1
5	»	87,8	1,26	10,8	3,4	3,2	15,0	1
6	»	66,5	1,32	14,3	3,6	4,0	4,0	2
7	»	52,0	1,28	18,3	3,6	5,1	3,0	2
8	»	42,0	1,22	22,6	3,6	6,3	4,0	2
9	»	37,2	1,13	25,6	3,6	7,1	3,0	2
10	»	33,3	1,11	28,5	3,6	8,0	15,0	2
11	»	31,0	1,07	31,0	3,6	8,6	—	3
Сумма . . .					—	50,8	58,0	—

Таблица 39

№ пропусков	Форма калибра	Сечение полосы после пропуска см²	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек.	Паузы сек.	№ клеток
0	Заготовка	156	—	4,4	—	—	—	—
1	Ящичный	120	1,30	5,3	2,8	1,9	5,0	1
2	То же	89	1,35	7,2	2,9	2,5	3,0	1
3	„	66,9	1,33	9,6	3,1	3,1	4,0	1
4	Фасонный	51,5	1,30	12,5	3,2	3,9	3,0	1
5	То же	38,7	1,33	16,7	3,4	4,9	15,0	1
6	„	28,0	1,38	23,0	3,6	6,4	3,0	2
7	„	20,9	1,34	30,8	3,6	8,6	4,0	2
8	„	16,0	1,30	40,3	3,6	11,2	15,0	3
9	„	14,1	1,14	45,0	3,6	12,5	—	—
Сумма . . .					—	55,0	52,0	—

Распределение времени по клетям и часовая производительность приведены в табл. 40.

Таблица 40

Профиль	№ клеток	Машинное время, сек.	Паузы, сек.	Сумма, сек.	Ритм прокатки сек.	Число прокатываемых заготовок в час	Вес одной заготовки, кг	Часовая производительность стана по всаду, т	
								технически возможная	практическая
Балка № 18 {	1	11,7	29,0	40,7	48	75	765	57	45
	2	30,5	29,0	59,5					
	3	8,6	—	8,6					
Сумма .	—	50,8	58,0	108,8	—	—	—	—	—
Угловая сталь 75×75×10 мм {	1	16,3	30,0	46,3	36	100	520	52	41
	2	26,2	22,0	48,2					
	3	12,5	—	12,5					
Сумма .	—	55,0	52,0	107,0	—	—	—	—	—

Среднюю часовую производительность стана по всаду можно принять из такого расчета. Стан прокатывает заготовку от 100 до 200 квадрат со следующим распределением их в сортаменте:

Заготовка мм	Вес 1 м длины, кг	Содержание в сортаменте, %
100×100	76	10
125×125	118	50
150×150	170	35
200×200	305	5

В соответствии с этим средний вес 1 м длины заготовки получается равным:

$$(76 \times 0,10) + (118 \times 0,50) + (170 \times 0,35) + (305 \times 0,05) = 141 \text{ кг.}$$

Заготовка с средней длиной 4,5 м весит 635 кг.

Средний ритм прокатки можно принять в 45 сек., в соответствии с чем практическая часовая производительность стана при выходе 91% составляет:

$$\frac{3600 \times 0,635 \times 0,80 \times 0,91}{45} = 37 \text{ т.}$$

Для большинства профилей перевалку валков приходится производить во всех трех клетях, поэтому годовое число часов работы стана следует брать не более 6000. Следовательно, годовая производительность стана равна:

$$37 \times 6000 \approx 220 \text{ тыс. т.}$$

По выходе из стана прокатанная полоса поступает на двусторонний холодильник длиной 40 м и с шириной каждой секции 8,5 м. Между станом и холодильником имеется пила горячей резки. По холодильнику полоса передвигается посредством канатных шлепперов. Со стороны каждой секции установлена пятивалковая роликовая правильная машина, которая может править полосу по всей длине, выходящей из стана. В соответствии с этим выбрана и длина ролягангов за роликовыми правильными машинами. После правки полосы режутся двусторонними ножницами на части требуемых длин, которые поступают в находящиеся за ними двусторонние карманы, а из этих последних металл пачками переносится краном на склад.

Стан 600 с расположением в две линии. Описанный выше стан линейного типа имеет следующие основные недостатки. Все пропуски как черновые, так и чистовые производятся при одной скорости, которая соответствует черновым пропускам и является, следовательно, недостаточной для чистовых пропусков. Это, во-первых, ограничивает длину прокатываемых полос, во-вторых, увеличивает машинное время. Во всех клетях валки имеют одинаковый диаметр, что ограничивает размеры исходных заготовок. Часто приходится производить перевалку во всех клетях, так как черновая профилировка в большинстве случаев начинается в первой клетке.

Показанный на рис. 166 стан 600 с расположением в две линии лишен этих недостатков, так как здесь диаметры валков и скорости прокатки дифференцированы.



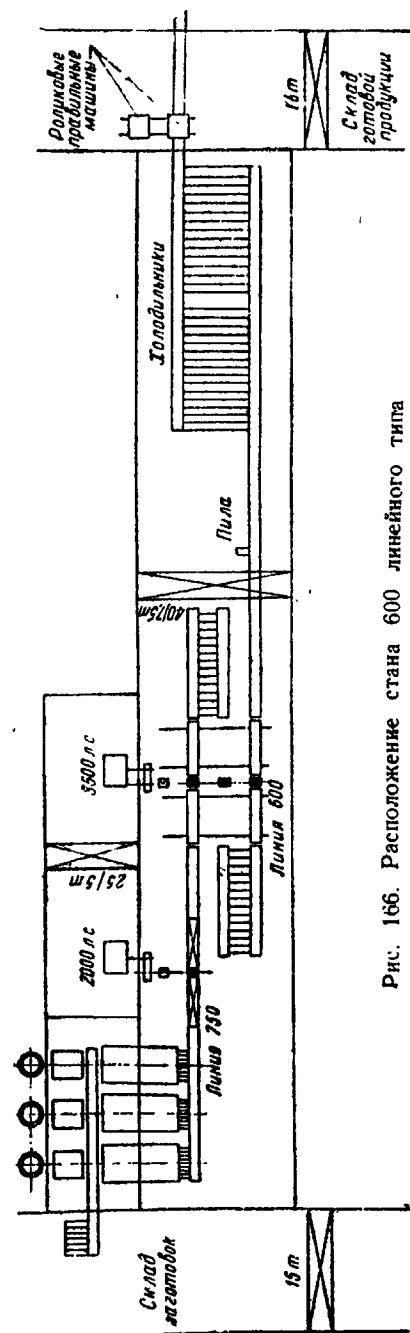


Рис. 166. Расположение стана 600 линейного типа

Стан прокатывает следующий основной сортамент: сталь круглую и квадратную от 50 до 150 мм, сталь полосовую шириной до 300 мм, сталь угловую от  $75 \times 75$  до  $150 \times 150$  мм, балки и швеллеры высотой от 120 до 300 мм.

В качестве исходного материала применяются заготовки и бумы сечением от  $125 \times 125$  до  $250 \times 250$  мм при длине 4,5 м.

Заготовки и бумы нагреваются в трехзонных методических печах. Длина пода печей 24 м, ширина 5,5 м. Часовая производительность каждой печи 50—60 т, в зависимости от сечения заготовок и бумов.

Стан имеет две линии — обжимную и чистовую. Обжимная линия включает одну рабочую клеть с валками  $\varnothing 750 \times 1800$  мм и одну шестеренную с валками  $\varnothing 720$  мм. Валки приводятся в движение мотором переменного тока мощностью 2000 л.с., с числом оборотов в минуту 428, через редуктор. Валки делают 75 оборотов в минуту, что дает номинальную скорость  $\sim 3,0$  м/сек.

С передней и задней сторон стана имеются качающиеся столы и манипуляторные линейки для подъема и направления прокатываемой полосы в соответствующие калибры. Кроме того, левая линейка имеет кантовальные пальцы для кантовки полосы на  $90^\circ$ .

После прокатки в обжиме полоса по рольгангу подается к чистовой линии, состоящей из трех рабочих клеток, из которых две трио с валками  $\varnothing 600 \times 1500$  мм и одна дуо с валками  $\varnothing 600 \times 1100$  мм. Шестеренная клеть имеет валки  $\varnothing 570$  мм.

Валки приводятся в движение мотором постоянного тока мощностью 3500 л.с., число оборотов валков регулируется в пределах 70—120 в минуту. Чистовая линия обслуживается с обеих сторон катучими столами аналогично стану 485.

Общее число пропусков находится в пределах 8—14 с распределением по клетям, приведенным в табл. 41.

Таблица 41

	Обжимная линия	Чистовая линия				Общее число пропусков
		1-я клеть	2-я клеть	3-я клеть	всего	
1-я схема . . . . .	3	3	1	1	5	8
2-я " . . . . .	5	3	1	1	5	10
3-я " . . . . .	5	3	3	1	7	12
4-я " . . . . .	7	3	3	1	7	14

В табл. 42 приведена схема прокатки балки высотой 240 мм и в табл. 43 — схема прокатки угловой стали  $100 \times 100 \times 10$  мм.

Таблица 42

№ пропусков	Форма калибра	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек	Время прокатки сек.	Паузы сек.	№ клеток
0	Заготовка	462	—	4,1	—	—	—	—
1	Ящичный	420	1,10	4,3	2,3	1,9	4,0	1
2	То же	380	1,10	4,7	2,5	1,9	5,0	1
3	Балочный	317	1,20	5,7	2,5	2,3	4,0	1
4	То же	256	1,24	7,0	2,7	2,6	3,0	1
5	" "	203	1,26	8,8	2,9	3,0	15,0	1
6	" "	153	1,30	11,7	3,5	3,4	4,0	2
7	" "	116,2	1,32	15,3	3,5	4,4	3,0	2
8	" "	90,8	1,28	19,7	3,5	5,6	20,0	2
9	" "	74,4	1,22	24,0	3,5	6,9	4,0	3
10	" "	64,2	1,16	27,8	3,5	7,9	3,0	3
11	" "	57,3	1,12	31,2	3,5	9,0	20,0	3
12	" "	52,6	1,09	34,0	3,5	9,7	—	4
Сумма . . .						58,6	85,0	—

Таблица 43

№ пропусков	Форма калибров	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек.	Время прокатки сек.	Паузы сек.	№ клетей
0	Заготовка	255	—	4,1	—	—	—	—
1	Ящичный	198	1,29	5,2	2,5	2,1	4,0	1
2	То же	144	1,38	7,2	2,7	2,7	5,0	1
3	„	123	1,17	8,5	2,7	3,2	4,0	1
4	„	94,5	1,30	11,0	2,8	4,0	3,0	1
5	Фасонный	69	1,37	15,1	2,9	5,2	15,0	1
6	То же	49	1,41	21,2	3,8	5,6	4,0	2
7	„	34,5	1,43	30,0	3,8	8,0	3,0	2
8	„	29,3	1,17	35,5	3,8	9,3	20,0	2
9	„	25,5	1,15	41,0	3,8	10,8	20,0	3
10	„	23,1	1,10	45,0	3,8	11,9	—	4
Сумма . . .						62,8	78,0	—

Распределение времени по клетям и часовая производительность стана получаются такие (табл. 44):

Таблица 44

Профиль	№ клетей	Машинное время, сек.	Паузы, сек.	Сумма, сек.	Ритм прокатки сек.	Число прокатываемых блюмов, в час.	Вес одного блюма, кг	Часовая производительность стана по всаду, т	
								технически возможная	практическая
Балка № 24	1	11,7	31,0	42,7	36	100	1440	144	115
	2	13,4	27,0	40,4					
	3	23,8	27,0	50,8					
	4	9,7	—	9,7					
Сумма	—	58,6	85,0	143,6	—	—	—	—	—
Угловая сталь 100×100×10 мм	1	17,2	31,0	48,2	36	100	790	79	63
	2	22,9	27,0	49,9					
	3	10,8	20,0	30,8					
	4	11,9	—	11,9					
Сумма	—	62,8	78,0	140,8	—	—	—	—	—

Аналогично предыдущему, определим средний вес 1 м длины заготовки на основании следующего распределения отдельных размеров ее в сортаменте:

Заготовка мм	Вес 1 м длины кг	Содержание в сортаменте, %
125×125	(118×0,25) = 29,5	25
150×150	(170×0,50) = 85,0	50
200×200	(305×0,20) = 61,0	20
250×250	(470×0,05) = 23,5	5

Сумма = 199,0 кг ≈ 200 кг.

При длине 4,5 м вес заготовки равен 900 кг. Принимая ритм прокатки в 36 сек. и выход годного 91 %, получаем среднюю практическую производительность стана в час:

$$\frac{3600 \times 0,900 \times 0,80 \times 0,91}{36} \approx 65 \text{ т.}$$

Число часов работы для этого стана можно взять несколько большим, чем для предыдущего, именно — 6300. Производительность стана в год составит:

$$65 \times 6300 \approx 410 \text{ тыс. т.}$$

Такую производительность стана получим по принятому выше соотношению между размерами заготовок. Вполне понятно, что при ином соотношении их производительность стана изменится в ту или другую сторону, как видно из табл. 45.

Таблица 45

Размеры заготовок мм×мм	Соотношение между заготовками в сортаменте %	Средний вес заготовки при длине 4,5 м кг	Средняя часовая практическая производитель- ность т	Годовая производитель- ность при 6300 час. работы т
Первый вариант				
125×125	50	776	56	350 000
150×150	35			
200×200	10			
250×250	5			
Второй вариант				
125×125	10	1180	85	535 000
150×150	30			
200×200	50			
250×250	10			

По выходе из стана полоса по отводящему рольгангу направляется к пилам для обрезки концов и разрезки полосы на кратные длины. Всего имеются три салазочные пилы, из которых две пер-

вые могут передвигаться вдоль рольганга для установки на определенном расстоянии, а третья устанавливается стационарно. Окончательная длина выпускаемых полос достигает 50 м. После порезки полосы поступают на два шлепперных стеллажа длиной по 25 м каждый, шириной 16 м. Длина стеллажей выбрана, исходя из максимальной длины выпускаемых цехом полос 25 м.

После охлаждения полосы по отводящему рольгангу поступают на роликовую правильную машину. Всего установлены две такие машины, из которых одна находится в работе, а другая сдвигается в сторону для смены роликов. После правильной машины металл может иметь три направления: 1) в сборочные карманы, из которых передается на склад, 2) к пилам или ножницам холодной резки, если требуется дальнейшее деление на кратные длины, и 3) к штемпельному прессу, если требуется доправка. Окончательно отделанные полосы поступают на склад.

### 3. Станы 600—450 с последовательным расположением клетей

В эту группу входят станы, имеющие следующую основную характеристику:

1. Клетки в них располагаются последовательно, но в два или три параллельных ряда (рис. 168 и 171).

2. В соответствии с этим полоса проходит клетки в трех направлениях, из которых два крайних идут по ходу прокатки, а среднее, их соединяющее, против хода прокатки (рис. 167).

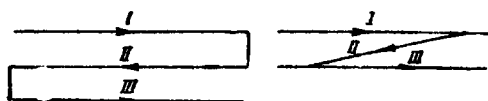


Рис. 167. Схема потока металла на станах с последовательным расположением клетей

3. Прокатываемая полоса одновременно находится только в одной клетке.

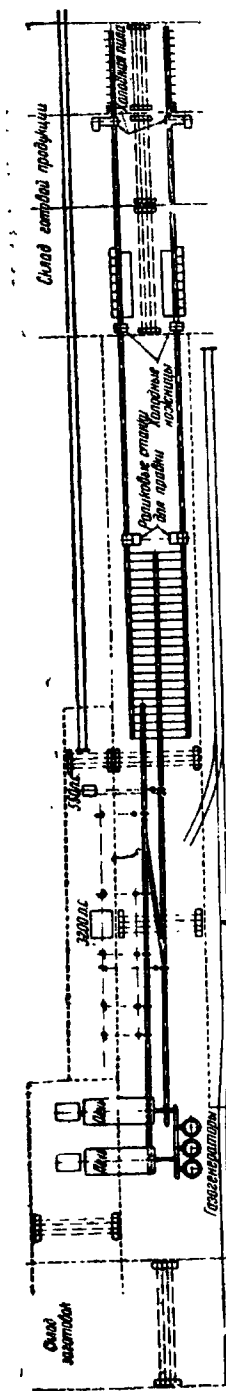
Среднее направление может располагаться параллельно крайним, и тогда мы имеем тип стана, изображенного на рис. 171, в котором клетки располагаются в три ряда. Но оно может быть расположено и под углом; тогда получается стан, показанный на рис. 168, с расположением клетей в два ряда. Собственно стан с расположением клетей в три ряда представляет собой дальнейшее развитие стана рис. 168, появившегося значительно раньше. Недостатки стана последнего типа — задача полосы под углом и расположение рольгангов на разных уровнях — и послужили причинами появления станом с тремя рядами клетей.

Схемы прокатки на станах с разным расположением клетей различны. На рис. 168 показана схема расположения клетей стана 450 с косым средним направлением прокатки. Стан имеет семь клетей с валками  $\varnothing 450$  мм, из которых 1—4 и 7-я — дуо и 5, 6-я — трио. Кроме того, перед седьмой клетью имеется клеть с вертикальными валками. Полоса в первых четырех клетях делает по одному пропуску, в 5 и 6-й — по два и в 7-й — опять один пропуск. Общее число пропусков равно девяти. После четвертой клетки идет восстающий рольганг (рис. 169), который подает полосу в верхний калибр 5-й клетки (5-й пропуск); по выходе из нее полоса падает на рольганг, задающий ее в нижний калибр этой же клетки (6-й пропуск). После этого полоса вновь движется по другому восстающему рольгангу для задчи в верхний ряд 6-й клетки (7-й пропуск), затем проходит через нижний калибр этой же клетки (8-й пропуск) и, наконец, направляется в 7-ю клетку (9-й пропуск).

На рис. 170 изображен стан, в котором первая клетка выполнена как обжимная трио с валками  $\varnothing 750$  мм. В ней полоса делает от 3—7 пропусков, после чего прокатывается в последующих пяти клетях дуо и трио с валками  $\varnothing 650$  мм. Такой стан более гибок в отношении общего числа пропусков и прокатываемого сортамента: на этом стане прокатываются балки высотой от 150 до 460 мм, швеллеры высотой от 125 до 380 мм и угловая сталь от 75 до 200 мм.

Но указанные две схемы имеют следующие недостатки: 1) рольганги располагаются на разных уровнях, что создает неудобства в обслуживании цеха; 2) настройка клетей трио и работа на них более сложны, чем на клетях дуо; 3) в стане, показанном на рис. 170, производительность лимитируется обжимной клетью трио, вследствие значительного числа пропусков в ней.

Поэтому впоследствии перешли на расположение по рис. 171, в котором имеются только клетки дуо, причем в каждой из них полоса делает по одному пропуску.



Стан 550 с последовательным расположением клетей в три ряда.

В обширный сортамент этого стана входят следующие профили:

Круглая сталь . . . . . от 50 до 150 мм,  
 Квадратная сталь . . . . . 50 • 150 •  
 Полосовая сталь шириной . . . . . до 300 мм,  
 Угловая сталь . . . . . от 75×75 до 150×150 мм,  
 Балки и швеллеры высотой . . . . . от 120 до 200 мм,  
 Полоса для рельсовых креплений  
 (накладки и подкладки),  
 Рудничные рельсы . . . . . от 11 до 24 кг/м.

Для прокатки этих профилей применяются заготовки сечением от 125×125 до 250×250 мм и длиной от 4,1 до 4,9 м (в среднем 4,5 м), которые нагреваются в четырех методических

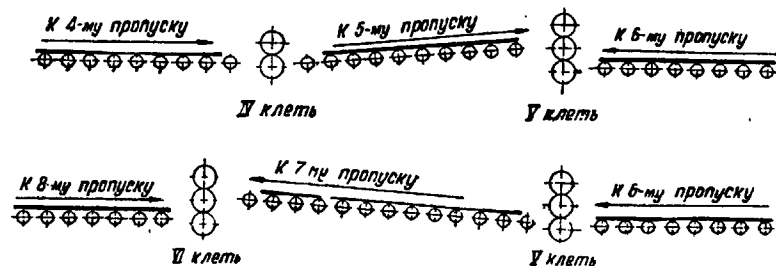


Рис. 169. Схема передачи полосы на стане 450 (рис. 168)

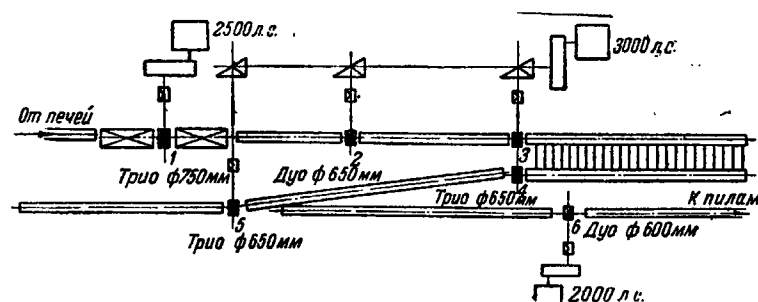


Рис. 170. Стан 650 с последовательным расположением клетей

рекуперативных печах со сквозным проталкиванием, имеющих следующую основную характеристику: длина пода 18,3 м, ширина пода 5,5 м, часовая производительность при холодном всаде от 40 до 50 т. Печи отапливаются смешанным газом с теплотворной способностью 2000 кал. Расход смешанного газа на 1 т заготовки 188 м³, что составляет около 400 000 кал, или 5,7% условного топлива.

Заготовки грузятся на складе краном партиями от 6 до 12 штук на шлепперную площадку, откуда рольгангом направля-

ются к загрузочным столам каждой печи, а с этих последних толкателями подаются в печи, где и нагреваются до наибольшей температуры 1180°. Нагретые заготовки выталкиваются на печной рольганг, доставляющий их к стану.

Стан состоит из 9 рабочих и 9 шестеренных клетей дуо, расположенных в три параллельных ряда, таким образом, что клетки 1—5 образуют первый ряд, клетки 6—8—второй ряд и клетя 9 находится в третьем ряду. Характеристика клетей приведена в табл. 46.

Таблица 46

№ клетки	Диаметр рабочих валков, мм	Диаметр шестеренных валков, мм	Длина бочки рабочих валков, мм	Число оборотов валков в минуту	Скорость прокатки м/сек.	Приводные моторы		Ток
						мощность л. с.	число оборотов в минуту	
1	660	630	1000	20	0,69	1000	300	Переменный
2	660	630	1000	30	1,04	1000	300	»
3	660	630	1000	40	1,38	2000	300	»
4	660	630	1000	50	1,73	1000	300	»
5	550	530	1000	50—100	1,44—2,88	2000	300—600	Постоянный
6	550	530	1000	60—120	1,69—3,38			
7	550	530	1000	70—140	2,00—4,00			
8	550	530	1000	80—160	2,30—4,60	2000	300—600	»
9	550	530	1000	80—160	2,30—4,60			

Все клетки — открытого типа. Перевалка производится либо валками, либо целыми клетями, монтаж которых может выполняться в стороне. Перед каждой клетью, за исключением шестой, имеются аппараты для кантовки полос на 90°, установленные на расстоянии 4—5 м от клетей. Аппарат (рис. 172 и 173) представляет собой диск с вырезом, в который вставляется так называемая букса, имеющая форму, соответствующую прокатываемому профилю. Привод кантовального аппарата осуществляется от электромотора через червячную и кривошипношатунную передачи. Перемещение полос от пятой клетки к шестой и от восьмой к девятой осуществляется посредством шлепперов. Такие же шлепперы имеются и за четвертой клетью, чтобы можно было передавать полосы из этой клетки прямо в седьмую, если это требуется.

Прокатанные полосы по отводящему рольгангу направляются на двусторонний холодильник целиком или с предварительной резкой пилами салазочного типа, установленными вдоль отводящего рольганга; из пяти пил четыре могут передвигаться по направляющим на плитовине для установки их на определенных расстояниях, а пятая установлена стационарно. Таким образом, полоса может быть сразу разрезана на четыре части кратной длины, которые затем направляются на подводящий рольганг холодильника, а отсюда специальной подвижной линейкой передаются по-

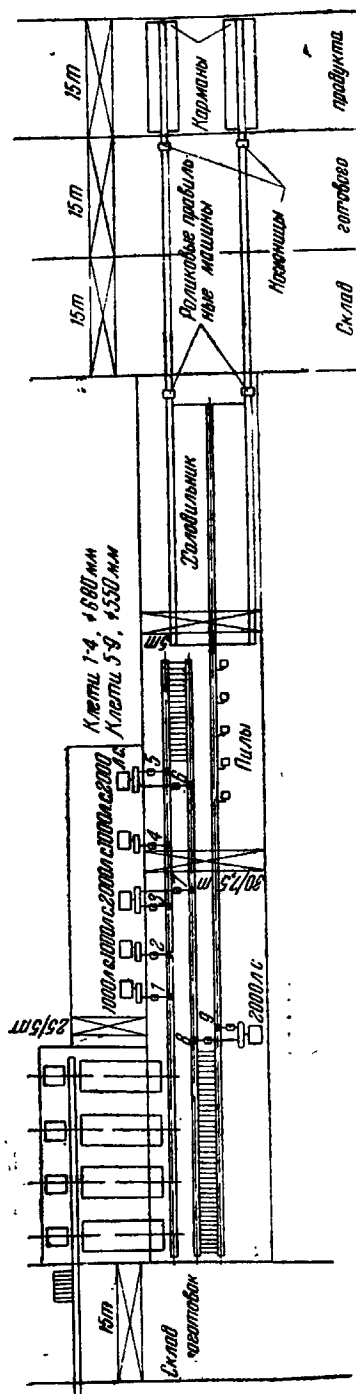


Рис. 171. Стан 550 с последовательным расположением клеток

очередно то на одну, то на другую сторону. Передвижение полос по решеткам холодильника осуществляется цепями Галля. Холодильник имеет длину 50 м и ширину каждой половины 10 м.

Остывшие полосы отводящими рольгангами подаются к роликовым правильным машинам для холодной правки, а затем к ножницам для резки на части, если это требуется. Отсюда полосы передвигаются по рольгангу (до упора), а с этого последнего шлепперами передаются в сборочные карманы, из которых в пачках краном переносятся на склад.

Стан располагается в двух основных пролетах, из которых первый — становой — имеет длину около 270 м, ширину в осях подкрановых путей 30 м. Пролет обслуживается двумя кранами грузоподъемностью 30/7,5 и 5 т. Второй пролет имеет ширину в подкрановых путях 27 м. В нем размещаются нагревательные печи и моторное помещение. Этот пролет обслуживается краном 25/5 т.

Склады заготовок и готового продукта обслуживаются кранами 15 т.

Стан рассчитан для прокатки 180 заготовок в час, исходя из пропускной способности девятой клетки. При длине полосы до 50 м время прокатки в этой клетке при скорости около 4 м/сек составит 12,5 сек; паузу для передачи следующей полосы от восьмой клетки к девятой и для задачи ее в эту последнюю можно принять в 7,5 сек. Таким образом, ритм прокатки будет равен 20 сек.

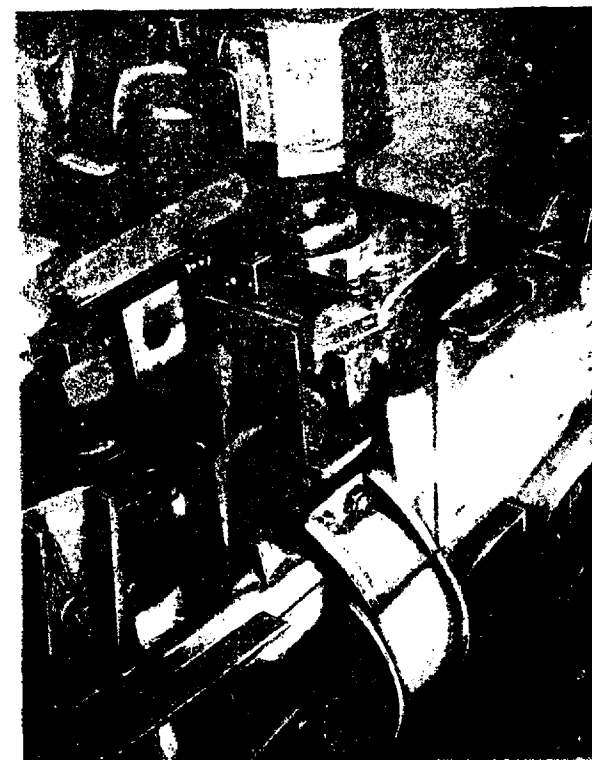


Рис. 172. Вид кантовального аппарата

Для отдельных размеров заготовок при средней длине 4,5 м производительность стана в час по всаду составит:

Заготовка мм	Вес 1 заготовки, кг	Вес 180 заготовок т
125×125	530	95
150×150	765	138
200×200	1380	248
250×250	2120	382

Максимальная производительность стана зависит от наибольшей мощности печей, которая составляет 200 т (50×4).

#### 4. Стан 350 линейного типа

На стане прокатывается сортамент профилей, указанный в табл. 87 для стана 350. Исходным материалом для прокатки служат блумы сечением 150×150 мм, длиной 1200—1300 мм (вес 210—230 кг) или слитки 200×200×1200 мм (вес 250 кг).

Слитки или блумы нагреваются в двухрядной методической печи, из которой выдаются выталкивателем на рольганг, подаю-

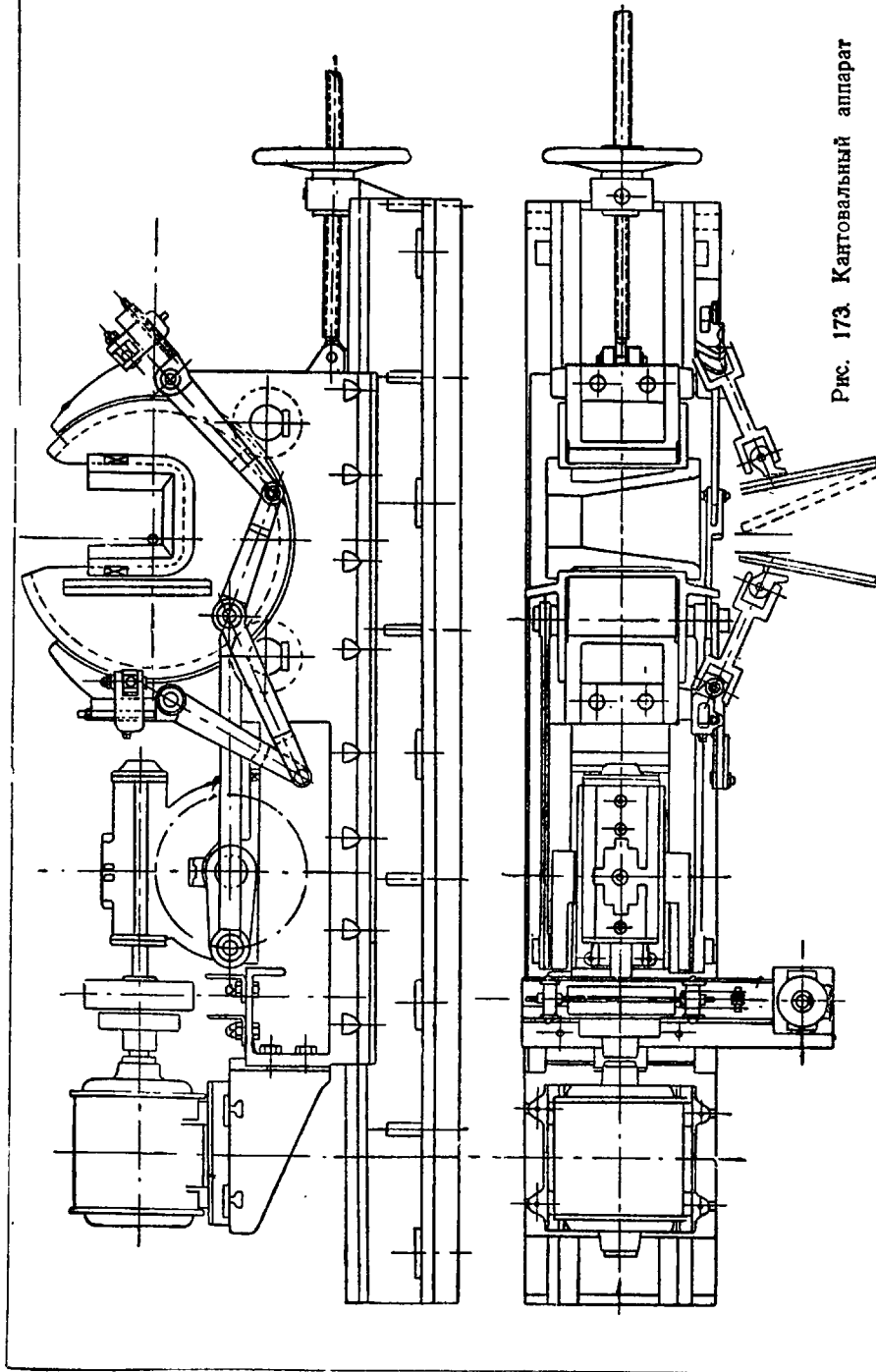


Рис. 173. Кантовальный аппарат

щий их к стану. Стан состоит из двух линий — обжимной и чистовой (рис. 174). Обжимная линия имеет одну клеть трио с валками диам.  $550 \times 1600$  мм, приводимыми во вращение мотором переменного тока 1000 л. с.; валки делают 100 об/мин. С передней стороны стан оборудован качающимся столом, с задней — кантовальными досками (рис. 175). Число пропусков — 7, 9 и 11, в зависимости от сечения исходного материала и конечного квадрата, который в данном случае выпускается двух размеров: 55 и 45 мм. Между обжимной и чистовой линиями расположены ножницы для обрезки концов и резки полосы на части, если это требуется.

Чистовая линия состоит из пяти клеток, в числе которых четыре трио с валками диам.  $350 \times 1000$  мм и одна дуо с валками диам.  $350 \times 600$  мм. Валки приводятся в движение мотором переменного тока 1500 л. с.;  $n = 215$ , непосредственно соединенным со станом.

Чистовая линия стана механизации не имеет. С задней стороны полоса передается от клетки к клетке ручным подвесным крючком. Следует отметить, что чистовые линии станом 300—400 линейного типа вообще трудно механизировать, в особенности заднюю сторону, так как подъемные столы здесь неприменимы: они тормозили бы работу из-за недостаточно быстрого действия. Поэтому обычно такие станы работают с ручным обслуживанием.

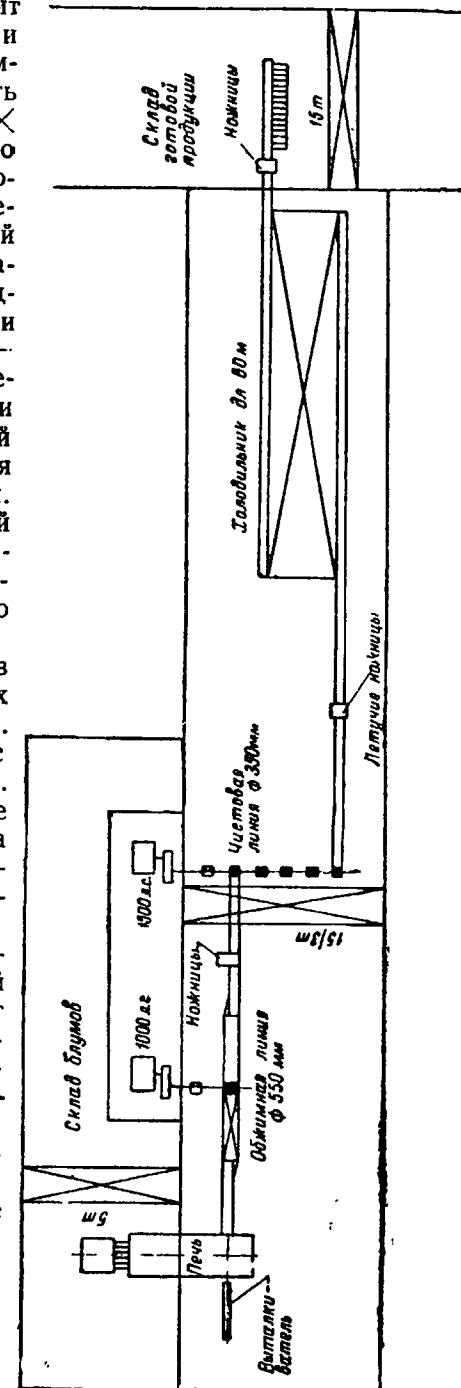


Рис. 174. Расположение стана 350 линейного типа

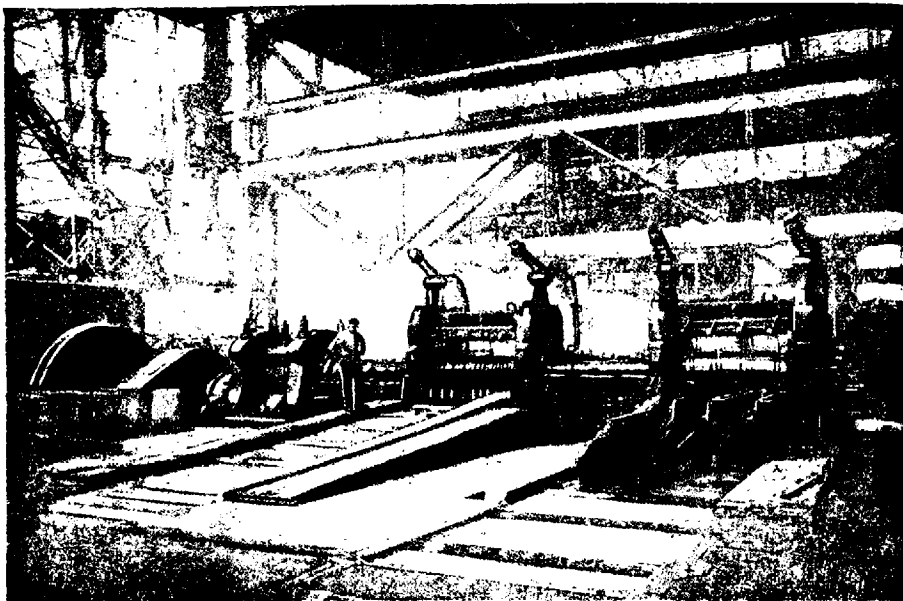


Рис. 175. Кантовальные доски

После прокатки полоса поступает на односторонний механический холодильник длиной 60 м, шириной 6 м. Между станом и холодильником помещаются вращающиеся ножницы, которыми полоса режется на части, если она не укладывается целиком на холодильнике.

Вращающиеся ножницы применяются двух типов — однобарабанные и двухбарабанные. Ножницы первого типа (рис. 176 а) имеют барабан с двумя ножами *а*, раздвигаемыми пружиной *б* во время холостого хода ножниц. Окружная скорость барабана соответствует линейной скорости полосы. При резке полосы ножи сжимаются роликами *в*. В момент окончания реза ножи выходят из роликов, и пружина возвращает их в исходное положение.

Ножницы второго типа (рис. 176 б) имеют два вращающихся барабана с одним ножом на каждом из них. Регулирование отрезаемой длины полосы достигается, в большинстве случаев, путем автоматического пуска и остановки их при каждом резе.

Наибольшее распространение получил реечный холодильник. Он состоит из трех основных частей: подводящего рольганга, комплекта качающихся и неподвижных реек, образующих собственно холодильник, и отводящего рольганга. Кроме того, холодильник имеет еще два механизма — для сбрасывания полос с подводящего рольганга на холодильник и для передачи их с этого последнего на отводящий рольганг.

Холодильник работает по следующей схеме. Полоса, поступив-

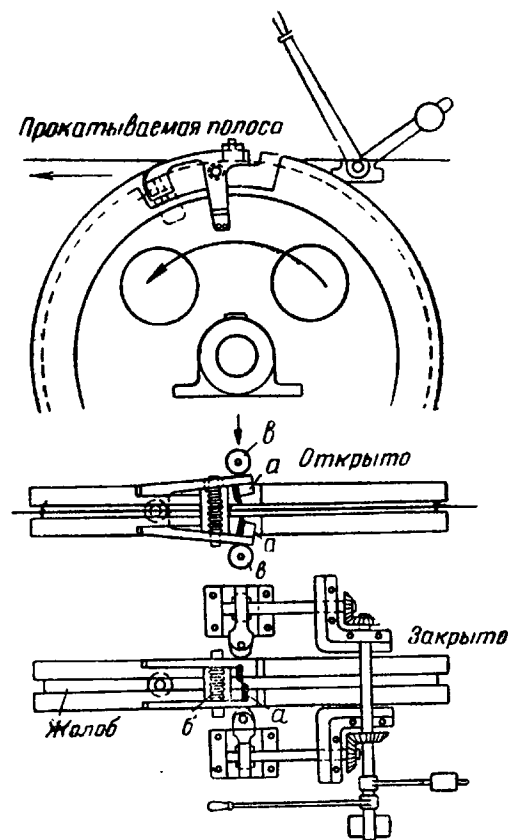


Рис. 176а Вращающиеся ножницы с горизонтальным разрезом

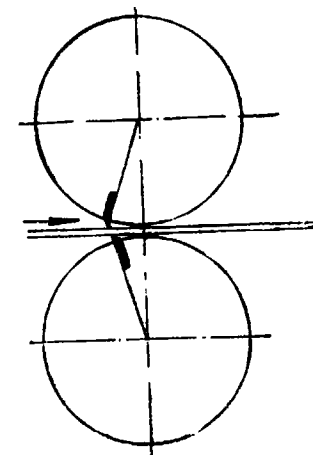


Рис. 176б. Вращающиеся двухбарабанные ножницы

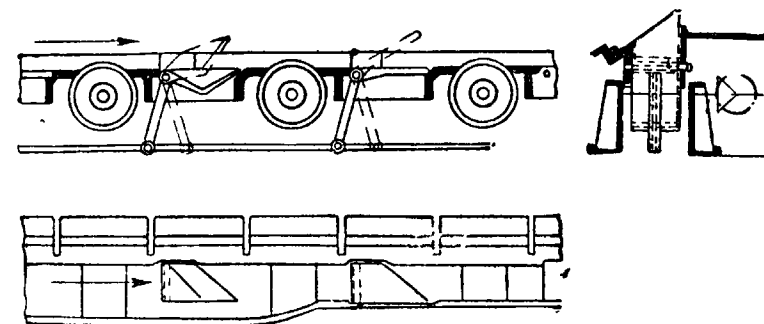


Рис. 177. Подъемные клапаны холодильника

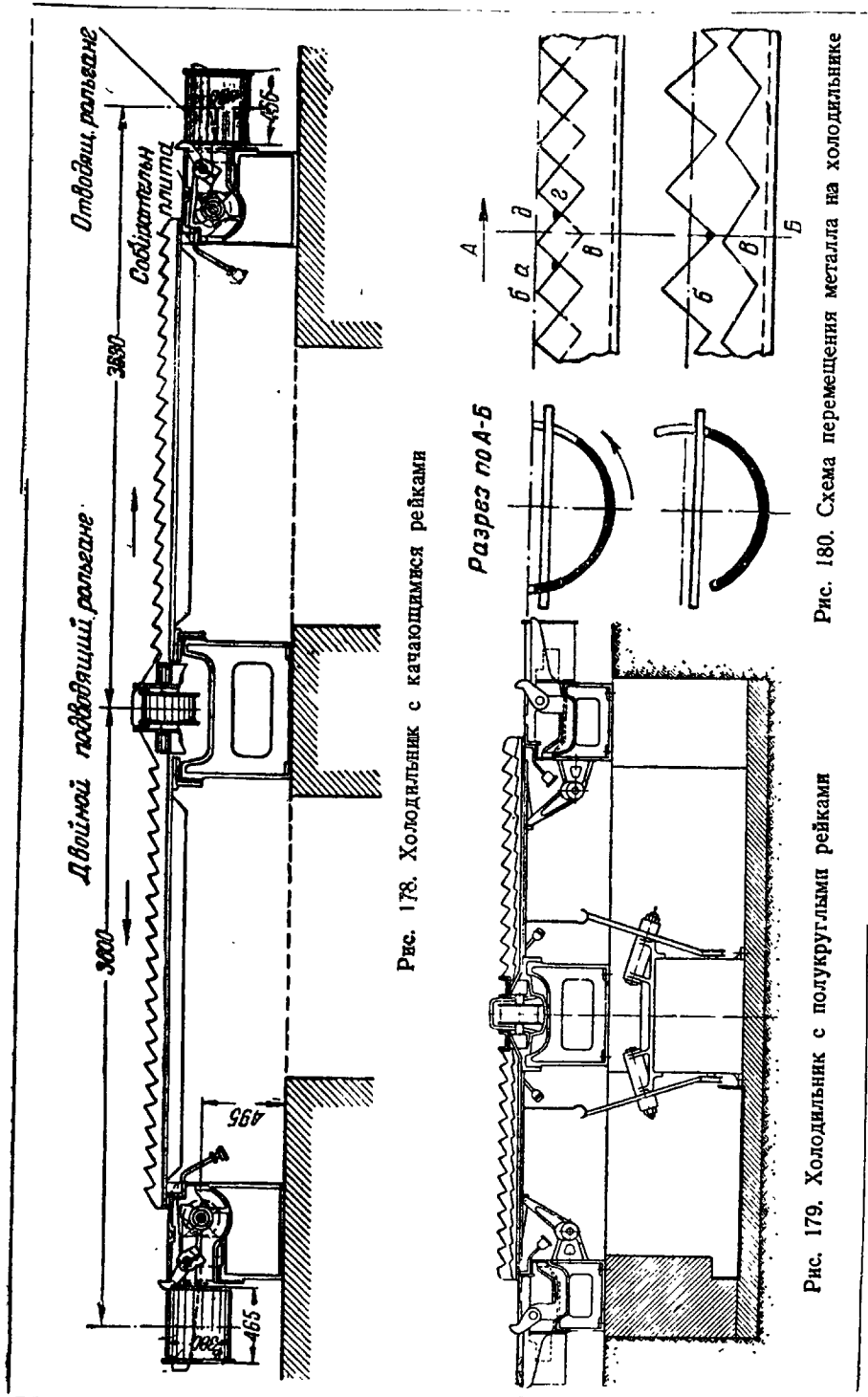


Рис. 178. Холодильник с качающимися рейками

Рис. 179. Холодильник с полукруглыми рейками

Рис. 180. Схема перемещения металла на холодильнике

шая на подводный рольганг, приподымается системой клапанов (рис. 177), имеющих скошенные края, по которым полоса сползает на первые зубья реек. Дальнейшее передвижение полос производится благодаря качанию реек, сначала они приподнимают ее, а затем переключают на следующие зубья (рис. 178). Полосы режутся на ножницах пачками, поэтому механизм для передачи их сконструирован в виде отдельных коротких реек, переносающих сразу несколько полос с конца холодильника.

Более ранняя конструкция холодильников представляла собой систему качающихся пилообразных реек с полукруглым сечением (рис. 179).

Схема перемещения металла на них показана на рис. 180. Полоса *а* лежит одновременно на двух зубцах *б* и *в*. При вращении рейки против часовой стрелки на некоторый угол полоса те-

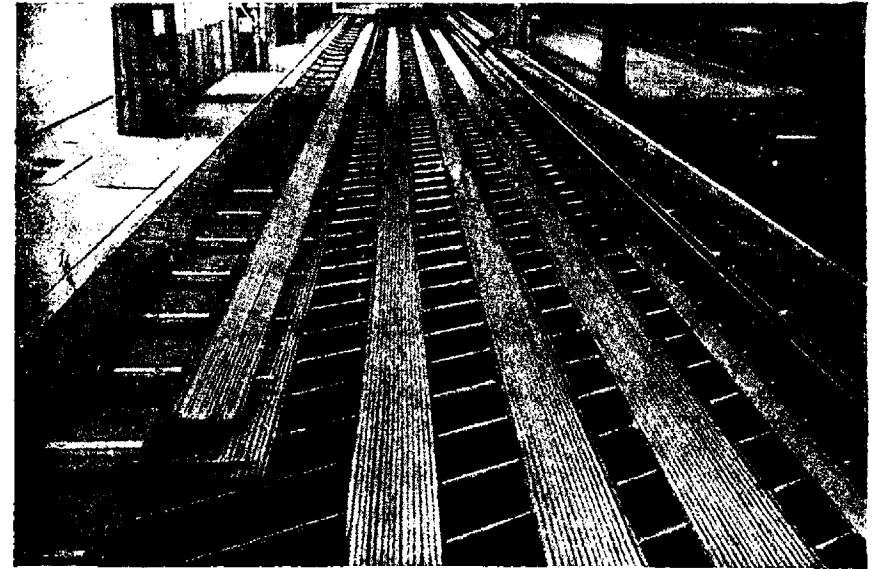


Рис. 181. Роликовый холодильник

рнет опору на зубце *в* и сдвигается по зубцу *б* в угол. При обратном вращении рейки полоса подымается и занимает положение *г*, передвинувшись на одно деление.

Следует еще упомянуть о холодильниках с косоустановленными роликами (рис. 181), совершающими медленное вращение, благодаря чему полосы получают продольное и поперечное перемещение.

Необходимые размеры холодильника могут быть выбраны на основании следующих соображений. Время охлаждения полосы определяется по формулам или кривым, учитывающим отдачу



тепла, главным образом, путем лучеиспускания и конвекции. Однако этот теоретический расчет может дать величину времени, отличающуюся от действительной, поэтому необходимо результаты расчетов проверять практическими данными. Длина холодильника принимается равной длине полос, которые прокатываются на данном стане, плюс некоторый запас (примерно в 10%) на возможную неточность веса заготовки. В частности для рассматриваемого стана длина холодильника принята в 60 м, исходя из размещения на нем полос с наибольшей расчетной длиной в 55 м. Предельное значение этой длины для разных профилей определяется двумя факторами: 1) подбором веса заготовок и 2) резкой полосы на вращающихся ножницах. Следовательно, вопрос сводится к определению ширины холодильника  $b$ , которую можно выразить так:

$$B = n \cdot b,$$

где  $b$  — шаг зубцов рейки;

$n$  — число зубцов (или равное ему число одновременно укладываемых полос).

Величина  $n$ , очевидно, должна быть равна частному от деления времени охлаждения  $T$ , потребного для данного профиля, на ритм прокатки  $t$ :

$$n = \frac{T}{t}.$$

Подставляя значение  $n$  в предыдущее выражение, окончательно получаем:

$$B = b \cdot \frac{T}{t}. \quad (57)$$

По данным практики для отдельных профилей  $T$  имеет следующие значения:

Сталь	Время $T$ , мин.
Полосовая толщиной 10 мм . . . . .	20
„ „ „ 14 „ . . . . .	25
Круглая диам. 30 мм . . . . .	25
„ „ 40 „ . . . . .	30
„ „ 50 „ . . . . .	40
Угловая 50×50×6 мм . . . . .	20
„ 65×65×6 „ . . . . .	25

В конце отводящего рольганга имеются ножницы, на которых полосы в холодном состоянии режутся на части требуемой длины, после чего поступают в собирательные карманы, откуда в пачках краном переносятся на склад.

На холодильнике полосы металла не только охлаждаются, но и в достаточной степени выправляются. Во всяком случае полосы таких простых профилей, как круг, квадрат, прямоугольник (полосовая сталь), после охлаждения получают почти прямыми.

Фасонные же профили после охлаждения нуждаются в дополнительной правке, которая производится на роликовых правильных машинах и штемпельных прессах, располагающихся на складах готового продукта, вне общего производственного потока.

В табл. 47—49 приведены схемы прокатки в обжимной линии бруса 150×150 мм в заготовку 50×50 (табл. 47) и в чистовой линии — круга диам. 25 мм (табл. 48) и полосы 50×10 мм (табл. 49). Распределение пропусков по клетям чистовой линии в обоих случаях следующее:

Клеть . . . . .	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Число пропусков . .	1	2	2	1	1

Таблица 47

№ пропусков	Форма калибра	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек.	Время прокатки сек.	Паузы сек.
0	Блум	225	—	1,25	—	—	—
1	Ящичный	180	1,25	1,5	1,9	6,8	3,0
2	То же	142	1,27	1,9	2,0	0,9	6,0
3	„	108	1,31	2,6	2,3	1,1	3,0
4	Овал	71	1,52	3,9	2,3	1,7	4,0
5	Квадрат	51,8	1,37	5,3	2,4	2,2	4,0
6	Овал	35,5	1,46	7,8	2,4	3,3	4,0
7	Квадрат	25,0	1,47	11,0	2,4	4,6	—
Сумма . . .					—	14,6	24,0

Таблица 48

№ пропусков	Форма калибра	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек.	Время прокатки сек.	Паузы сек.
0	Квадрат	25	—	11,0	—	—	—
1	Овал	18,0	1,39	15,3	3,8	4,0	10,0
2	То же	14,3	1,26	19,2	3,8	5,1	5,0
3	Квадрат	9,9	1,44	27,8	3,8	7,3	10,0
4	Ромб	8,3	1,20	33,1	3,8	8,7	15,0
5	Квадрат	7,3	1,40	37,7	3,8	9,9	10,0
6	Овал	5,5	1,33	50,0	3,8	13,2	7,0
7	Круг	5,0	1,10	55,0	3,8	14,5	—
Сумма . . .					—	62,7	47,0

Таблица 49

№ пропусков	Форма калибра	Сечение полосы после пропуска см <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска м	Скорость прокатки м/сек.	Время прокатки сек.	Паузы сек.
0	Квадрат	25,0	—	11,0	—	—	—
1	Ромб	19,5	1,28	14,1	3,8	3,7	10,0
2	Квадрат	16,2	1,20	17,0	3,8	4,5	5,0
3	Плоский	12,2	1,33	22,5	3,8	6,0	10,0
4	То же	8,7	1,40	31,5	3,8	8,3	5,0
5	„	6,0	1,45	45,5	3,8	12,0	10,0
6	Ребро	5,7	1,06	48,2	3,8	12,7	7,0
7	Плоский	5,0	1,14	55,0	3,8	14,5	—
Сумма . . .					—	61,7	47,0

Прокатка в обжимной линии производится с так называемым «перекрытием», т. е. последующий блум входит в валки раньше, чем окончится прокатка предыдущего. Не приводя здесь графика Адамецкого, укажем, что перекрытие в данном случае составляет 9,3 сек., т. е. ритм прокатки вместо 38,6 сек., равен 29,3 сек., или, округленно, 30 сек.

В чистовой линии ритм прокатки определяется третьей клетью, где он равен 33,6 сек. при прокатке  $\varnothing$  25 и 35,3 сек. при прокатке полосы  $50 \times 10$  мм. Округленно его можно принять в 36 сек. для обоих профилей.

Вес полосы после прокатки равен:

$$7,8 \times 0,05 \times 550 \approx 215 \text{ кг},$$

где 0,05 — площадь сечения полосы  $50 \times 10$  и  $\varnothing$  25 мм в квадратных дециметрах.

Чистый вес обрезанной полосы при выходе годного 92—93% составляет округленно 200 кг.

Теперь можно определить часовую производительность стана: технически возможную:

$$\frac{3600 \times 0,200}{36} = 20,0 \text{ т},$$

и практическую:

$$20,0 \times 0,8 = 16,0 \text{ т}.$$

Годовая производительность стана при 6300 часах работы:

$$16,0 \times 6300 \approx 100 \text{ тыс. т}.$$

### 5. Станы 350 и 300 шахматного типа

Эти станы по своему расположению могут быть совершенно одинаковыми, differing только сортаментом прокатываемых профилей и размерами валков.

На рис. 182 представлено расположение стана 350 шахматного типа. Он рассчитан на выпуск продукта следующего сортамента:

Сталь круглая . . . . . 38—75 мм  
 Сталь квадратная . . . . . 38—75 „  
 Сталь полосовая . . . от  $50 \times 12$ —25  
 . . . до  $120 \times 8$ —50 мм  
 Сталь угловая . . . . . от  $50 \times 50$  „  
 . . . . . до  $90 \times 90$  мм  
 Швеллеры высотой . . . 80—100 мм  
 Рельсы рудничные . . . . . 8—11 кг  
 Рессорная и пружинная  
 сталь шириной . . . от 76 до 130 мм

Для прокатки этих профилей применяются заготовки от  $100 \times 100$  до  $150 \times 150$  мм, длиной 4,5 м.

Заготовки нагреваются в трех методических печах со сквозным проталкиванием, имеющих следующую характеристику:

Длина пода печи . . . . . 15 м  
 Ширина пода печи . . . . . 5,5 „  
 Часовая производительность  
 при холодном всаде . . . 30—35 т

Печи отапливаются смесью доменного и коксового газов с теплотворной способностью 2000 кал.

Между печами и станом расположены горизонтальные 300-т ножницы для резки горячей заготовки на части, если это требуется.

Стан состоит из 11 рабочих и 11 шестеренных клеток дуо, характеристика которых приведена в табл. 50.

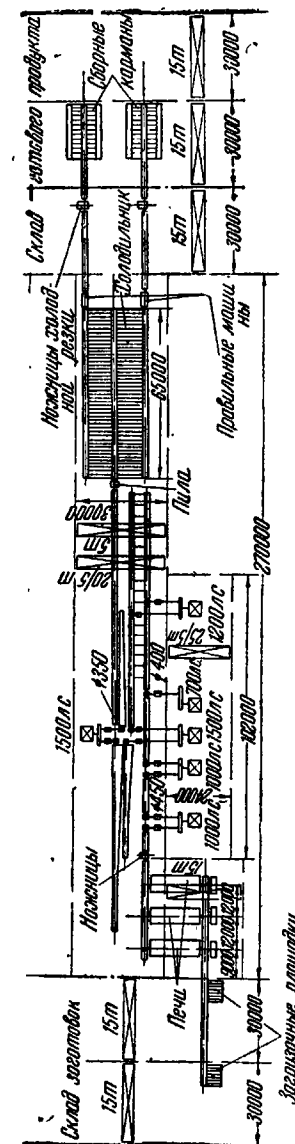


Рис. 182. Шахматный стан 350

Таблица 50

№ клетки	Диаметр рабочих валков, мм	Диаметр шестеренных валков, мм	Длина бочки рабочих валков, мм	Число оборотов валков в минуту	Скорость прокатки м/сек.	Приводные моторы		Ток
						мощность л. с	число оборотов в минуту	
1	450	430	850		1,18	1000	300	Переменный
2	450	430	850		1,41			
3	450	430	850		1,65			
4	450	430	850		1,88	1000	300	Переменный
5	400	380	850	70—140	1,47—2,94			
6	400	380	850	80—160	1,68—3,36			
7	400	380	850	90—180	1,88—3,76	1500	300—600	Постоянный
8	350	330	800	110—220	2,00—4,00			
9	350	330	800	130—260	2,38—4,76			
10	350	330	800	140—280	2,66—5,13	1500	300—600	Постоянный
11	350	330	800	140—280	2,66—5,13			

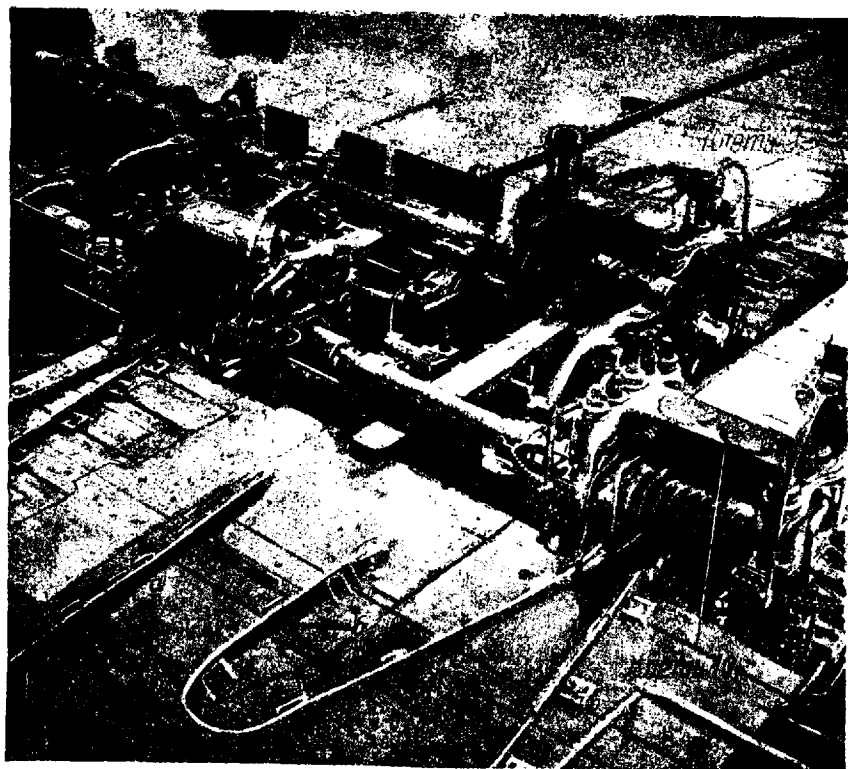


Рис. 183. Схема движения металла по косым рольгангам

Первые четыре клетки расположены попарно, и следовательно, прокатка в каждой паре клеток идет непрерывно. После шестой клетки полоса передается шлеперами на следующую линию, и направление прокатки меняется на противоположное. Такие же шлепперы имеются и за пятой клетью для возможности передачи полосы из нее прямо в восьмую клеть. Клетки 8—11 образуют шахматную группу и оборудованы рольгангами с косыми роликами, которые работают по следующей схеме (рис. 183). Полоса по выходе из девятой клетки попадает на косые ролики, которые стремятся направить ее перпендикулярно своей оси. Благодаря этому полоса прижимается к косому борту *a* рольганга. После того как конец полосы выйдет за направляющие линейки *б*, рольганг реверсируется, и полоса, стремясь опять двигаться перпендикулярно оси роликов, идет к десятой клетке. Для кантовки полос перед клетями имеются аппараты, конструкция которых аналогична уже описанным выше (рис. 172).

Схемы прокатки на стане приведены на рис. 184.

На расстоянии около 95 м от последней клетки расположен двусторонний реечный холодильник длиной 65 м, с шириной каждой стороны (между осями рольгангов) 9,05 м. Перед холодильником имеется стрелка, которая направляет полосу на ту или иную сторону его.

В конце каждого отводящего рольганга холодильника располагается семивалковая роликовая правильная машина для правки полос, число которых может доходить до четырех одновременно.

Выправленные полосы дальше поступают к ножницам для резки их на требуемые длины (от 6 до 25 м), после чего сталкиваются цепными шлеперами в собирательные карманы, откуда в пачках переносятся краном на склад.

Стан 300 шахматный, как было сказано выше, имеет следующие отличия от стана 350:

1. Диаметр валков равен: 1—4 клетки . . . 400 мм  
5—7 . . . 370 .  
8—11 . . . 305 .

2. Холодильник имеет длину 75 м.

3. Стан прокатывает такой сортамент сталей:

- |                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| круглую и квадратную . . . . . | 19—50 мм             |
| полосовую шириной . . . . .    | до 100 мм            |
| угловую . . . . .              | от 40×40 до 75×75 мм |
| швеллерную . . . . .           | от 50 до 80 мм       |
| тавровую . . . . .             | 25 . 50 .            |

4. Сечение применяемых заготовок:

75 × 75, 100 × 100, 125 × 125 мм.

Производительность станков 350 и 300 рассчитывается на пропуск 180 заготовок в час и может колебаться от 200 до 400 тыс. г в год.

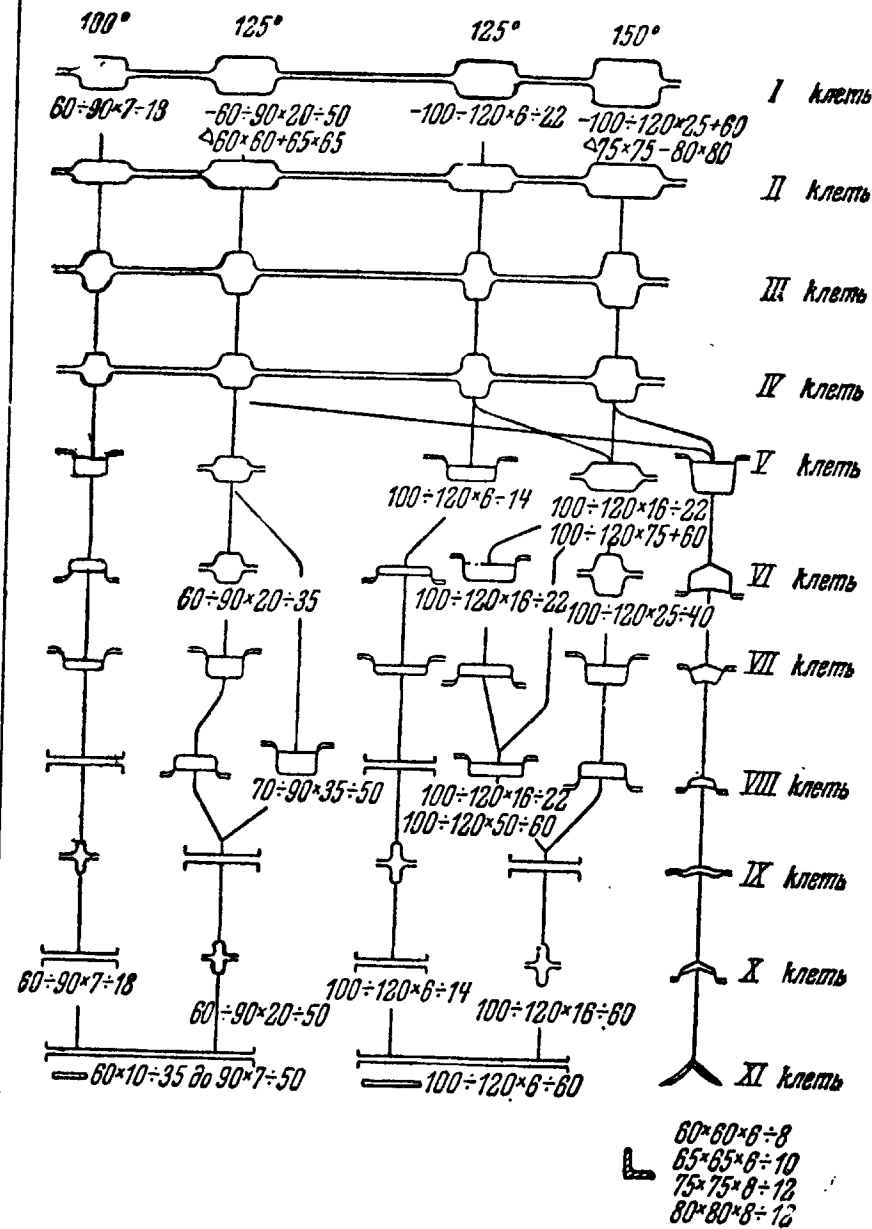


Рис. 184. Схема прокатки на шахматном стане

## 6. Стан 250 линейного типа

Станы линейного типа с диаметром валков меньше 300 мм обычно состоят из трех линий: обжимной, промежуточной, или черновой, и чистовой. Во всяком случае такое расположение имеют все станы, на которых прокатка ведется из мелких слитков или блюмов, и только в тех случаях, когда исходным материалом является заготовка малых сечений (ниже  $100 \times 100$  мм), необходимость в обжимной клетке отпадает. Такую особенность имеют эти станы в отношении расположения клеток, каковое диктуется необходимостью возможно большей дифференциации скоростей прокатки, с постепенным увеличением их по мере уменьшения сечения прокатываемой полосы. Номинальные скорости прокатки на этих станах таковы:

Обжимная линия	3,0—3,3 м/сек
Черновая	4,0—4,5
Чистовая	5,0—8,0

Эти станы — наиболее быстрые из всех сортовых станов, так как прокатывают самые мелкие профили.

Вторая особенность этих станов заключается в методе работы: прокатка ведется здесь петлями, причем петлевание полос начинается с черновой линии. Как увидим ниже, оно осуществляется вручную вальцовщиком или автоматически — путем применения обводок. Прокатка петлями в большинстве случаев применяется для наиболее мелких размеров (по кругу диам. 8—18 мм), хотя известно немало станов, на которых петлей прокатываются и бо-

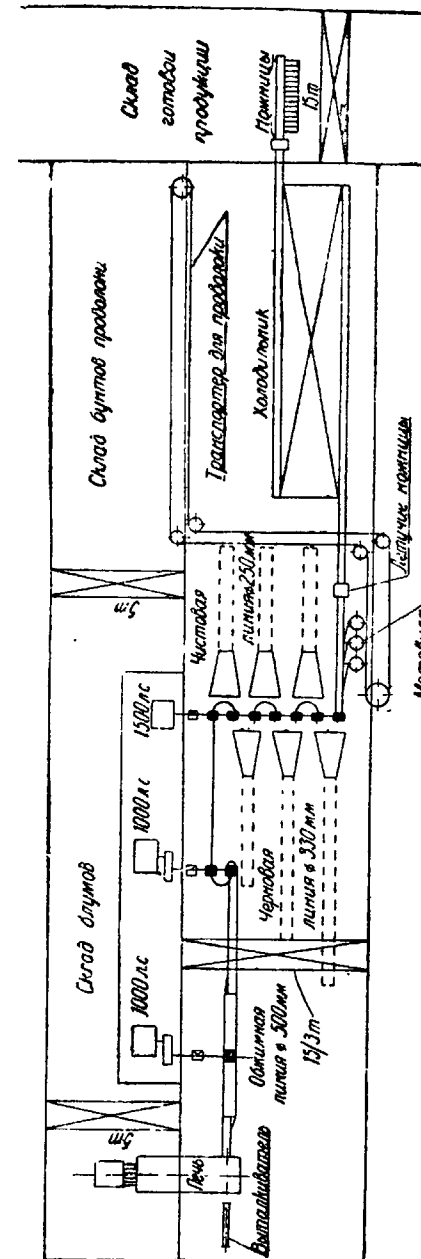


Рис. 185. Стан 250 линейного типа

лее крупные размеры. С другой стороны, встречаются такие станы 250, которые прокатывают в полосах (без петлевого) круглую сталь диаметром до 35 мм и соответствующие ей по размерам другие профили.

Рассмотрим теперь такой мелкосортный стан 250 в его наиболее типичном виде, с прокаткой всех профилей петлями (рис. 185). На стане прокатывается следующий сортамент:

Сталь круглая и квадратная . . . . . от 8 до 18 мм  
 Сталь полосовая . . . . .  $12 \times 4 \div 8$  до  $45 \times 4 \div 5$  мм  
 Сталь угловая . . . . .  $20 \times 20$  до  $30 \times 30$  мм

Часто на таких станах прокатывают и так называемое обрубное железо, шириной до 50 мм, хотя имеется много специальных станов, прокатывающих только этот вид продукта. Исходный материал представляют собой бумы  $130 \times 130 \times 1000—1500$  мм весом 130—195 кг. Они нагреваются в двухрядной методической печи с боковой выдачей (выталкивателем). Стан состоит из трех линий—обжимной, черновой и чистовой. В обжимной линии имеется одна клеть трио с валками  $\varnothing 500 \times 1500$  мм, приводимыми в движение мотором переменного тока мощностью 1000 л. с. Число оборотов валков в минуту равно 100. С передней стороны клеть оборудована подъемным столом, с задней—рольгангом

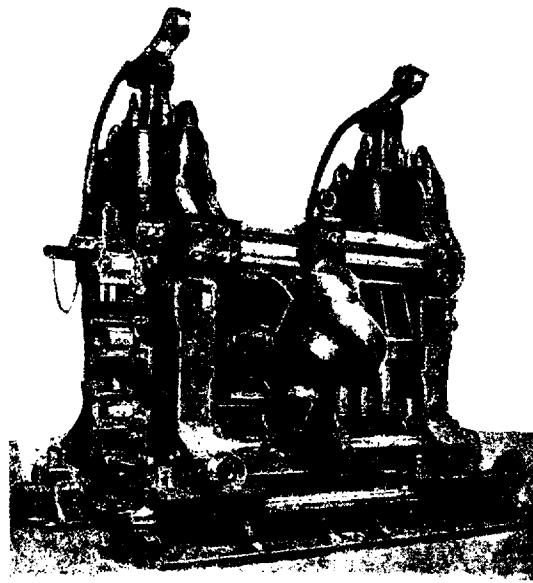


Рис. 186. Обводка для передачи полосы из калибра в калибр

и кантовальными досками. Сечение бума за 7 пропусков уменьшается до  $40 \times 40$  мм. Полоса из обжимной клетки выпускается на отводящий рольганг, по которому она подается к эксцентриковым ножницам для обрезки концов и разрезки на две части, после чего обе половины прокатываются последовательно в черновой линии. Эта последняя имеет две клетки трио с валками  $\varnothing 330 \times 900$  мм, приводимыми в движение мотором постоянного тока 1000 л. с. Число оборотов валков в минуту  $n = 160—240$ . В первой клетке получается сначала овал, который по обводке поступает в квадрат, передаваемый по круговой обводке в следующую клетку, где превращается в овал.

Обводка для передачи полосы из калибра в калибр (рис. 186) представляет собой полукруглый жолоб, оборачивающийся вокруг вертикального стержня, укрепленного на поперечных брусках. Жолоб устанавливается отверстием книзу. Полоса, выйдя из овального калибра, кантуется в проводках на некоторый угол и затем движется по жолобу, имеющему переменное очертание внутренней поверхности, соответствующее постепенной кантовке полосы, пока она не повернется на  $90^\circ$ , и при этом положении войдет в квадратный калибр. Число таких обводок в одной клетке может быть от одной до трех, причем они могут применяться и для овала и для квадрата.

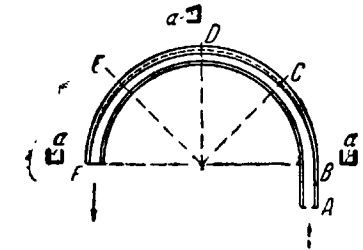


Рис. 187. Круговая обводка

Круговые обводки (рис. 187) служат для передачи из одной клетки в другую полос квадратного и овального сечений. Они выполняются с открытием вверх и вниз. Круговые обводки для квадрата применяются до самых малых размеров (до 5 мм), между тем как овальные имеют ограничение в отношении размеров полос. Наименьшую ширину овала, при которой полоса может уверенно продвигаться по обводке, можно принять практически равной приблизительно 20 мм.

Чистовая линия состоит из 7 клеток с валками  $\varnothing 250—300 \times 600$  мм. По конструкции эти клетки—переменное дуо. Диаметр валков от первой клетки к последней постепенно увеличивается для уменьшения длины образующихся петель, как это будет видно ниже. Привод в движение валков этой линии осуществляется от электромотора постоянного тока мощностью 1500 л. с., с числом оборотов в минуту от 320 до 480. Номинальная скорость прокатки находится в пределах:

$$\frac{0,25 \cdot 320}{19,1} \div \frac{0,30 \cdot 480}{19,1} = 4,2 \div 7,5 \text{ м/сек.}$$

Так как длина полосы, выходящей из 2-й черновой клетки, больше расстояния между черновой и чистовой линиями, то в течение некоторого времени полоса находится одновременно в двух клетках, т. е. процесс происходит по принципу непрерывной прокатки, с некоторым натяжением полосы и с соблюдением закона:

$$Fv = \text{const.}$$

Обычно полоса передается здесь по жолобу, причем по пути движения происходит кантовка ее, что осуществляется геликоидальными выводными проводками или трубочками.

На этом стане мы впервые встречаемся с процессом прокатки, который происходит с образованием петель, с задачей

полосы в валки во всех пропусках передним концом, в отличие от тех станов, в которых полоса выходит из валков целиком и задается в следующий калибр задним концом. Поэтому первые станы называются петлевыми, вторые — полосовыми. Как нетрудно установить, петлевание имеет целью уменьшить охлаждение металла и, следовательно, увеличить длину и вес прокатываемой полосы, а в конечном итоге —

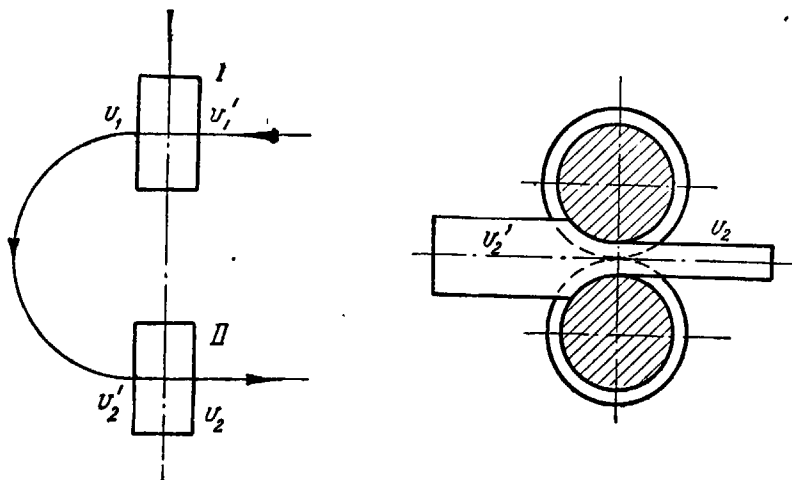


Рис. 188. Схема образования петель

повысить производительность стана. При прокатке мелких размеров сортового металла «полосой» с задачей задним концом металл сильно охлаждался бы, и следовательно, пришлось бы выкатывать более короткие длины по сравнению с теми, которые прокатываются петлей.

Передача полос квадратного сечения из клетки в клетку с задней стороны стана и задача их в валки осуществляются автоматически по обводкам, а с передней стороны — вручную вальцовщиками. Определим длину петли, образующейся между двумя соседними клетками. Пусть скорость выхода (рис. 188) полосы из первой клетки будет равна  $v_1$ , а скорость входа во вторую клетку  $v_2'$ . При одинаковом числе оборотов валков в обеих клетках и при малой разнице в диаметрах их, очевидно,  $v_2'$  будет меньше  $v_1$ . Если прокатка в первой клетке будет длиться  $t$  секунд, то I клетка выбросит за это время длину:

$$L_1 = v_1 t.$$

Время  $t$  можно представить в виде двух слагаемых: 1) паузы  $t_1$ , необходимой для передачи полосы из первой клетки во вторую, и 2) времени  $t_2$ , в продолжение которого происходит одновре-

менная прокатка в обеих клетках. За этот последний промежуток вторая клетка успевает забрать длину:

$$L_2 = v_2' t_2.$$

Очевидно разница длин  $L_1$  и  $L_2$  пойдет на образование петли длиной  $L$ , т. е.

$$L = L_1 - L_2 = v_1 t - v_2' t_2.$$

Если же в этом выражении  $t$  заменим суммой  $t_1$  и  $t_2$ , то получим:

$$L = v_1(t_1 + t_2) - v_2' t_2,$$

или

$$L = v_1 t_1 + (v_1 - v_2') t_2. \quad (58)$$

Первое слагаемое здесь ( $v_1 t_1$ ) выражает длину петли, образующуюся за время паузы, а второе слагаемое представляет длину петли, которая получается за время совместной прокатки в обеих клетках. Далее, если обозначим через  $v_2$  скорость выхода полосы из 2-й клетки и через  $\mu$  вытяжку в этой последней, то, очевидно, можно написать:

$$L = v_1 t_1 + \left( v_1 - \frac{v_2}{\mu} \right) t_2. \quad (58a)$$

Обводки для петель делают однократные и многократные, в зависимости от числа полос, прокатываемых одновременно в стане.

Образующиеся петли направляются в специальные каналы или так называемые карманы (рис. 189), располагающиеся ниже

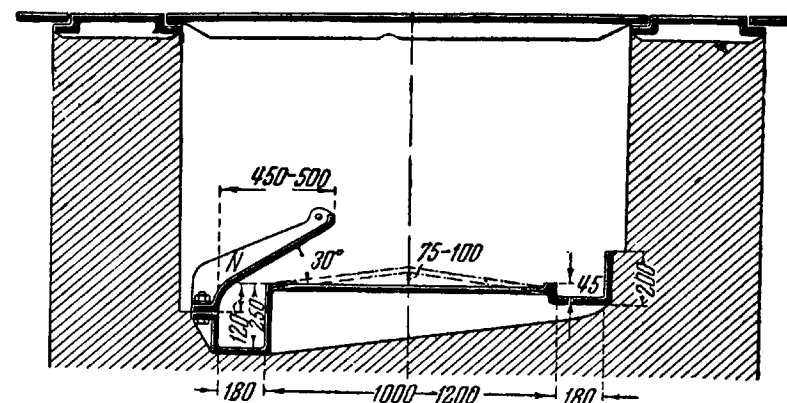


Рис. 189. Карманы для петель

уровня пола. Карманы имеют настил из литых плит, в которых делают желоба для движущихся в них полос и защитные козырьки. Длина карманов берется из расчета образующейся петли с добавлением некоторого запаса на непредвиденные задержки в задаче полосы.

На мелкосортных станах 250—280 мм готовый продукт выпускается в виде полос и в виде мотков. В первом случае полосы направляются на холодильник. Как и в стане 350, между последней клетью и холодильником здесь имеются вращающиеся ножицы для резки на ходу, причем они могут резать несколько про-

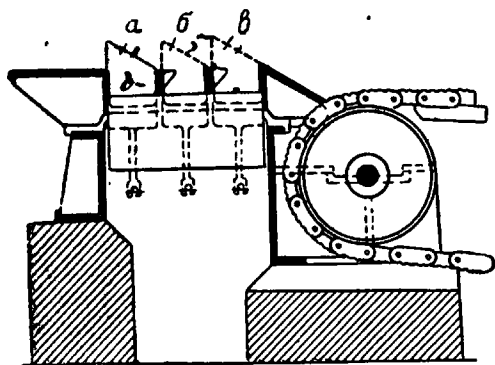


Рис. 190а. Приемный рольганг для трех ниток

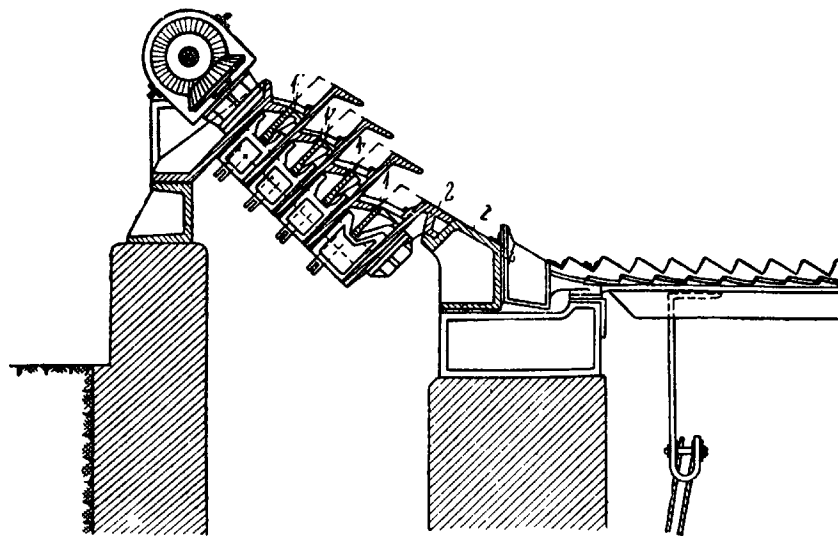


Рис. 190б. Приемный рольганг для четырех ниток

ходящих полос. В соответствии с этим подводящий рольганг холодильника приспособлен для приема также нескольких полос (до шести). Одно из таких устройств показано на рис. 190 а. Оно состоит из трех желобов с разделяющими стенками и трех ком-

плектов подъемных клапанов, которыми полоса поочередно передается из наружного желоба *а* в средний *б*, а из этого последнего в желоб *в* и дальше на холодильник.

На рис. 190 б показано устройство для приема и передачи четырех полос. Оно включает рольганг с наклонными роликами и четырьмя независимыми желобами, из которых полосы выталкиваются клапанами *1* и собираются на площадке *2*, откуда поступают на холодильник.

Длина холодильников мелкосортных станов линейного типа, в большинстве случаев, находится в пределах 60—90 м, ширина — от 4 до 7 м. Типы и общее устройство холодильников аналогичны тем, которые уже описаны выше.

При выпуске продукции в мотках полосы после прокатки сматываются на мотовилах. В большинстве случаев в мотках выпускается круглая и квадратная сталь размерами от 6 до 14 мм, хотя иногда сматывают круглую сталь диаметром до 25 мм.

Мотовила применяются двух основных систем — с неподвижным и вращающимся наматывающим барабаном.

Более старая по конструкции моталка с неподвижным барабаном (рис. 191) состоит из конуса, вращающегося на валу *б*, приводимом через коническую (*а*) и ременную передачи от стана. Проволока из валков по трубе проходит через вал *б* и трубку *с* и сматывается вокруг неподвижного барабана *д*, который после окончания сматывания посредством гидравлического цилиндра *е* опускается вниз, после чего моток может быть оттянут в сторону.

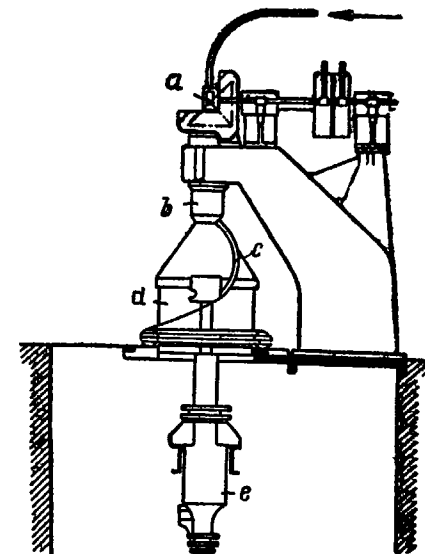


Рис. 191. Моталка с неподвижным барабаном старой конструкции

В современных моталках с неподвижным барабаном (рис. 192) моток во время сматывания поддерживается каким-либо приспособлением, например, тарелкой *к*, опускающейся вместе с мотком по направляющим *а* посредством рычагов *б* в положение *с*. Рычаги *б* получают движение от мотора *т* через передачу и шпindel *д*. Когда тарелка находится в положении *с*, моток сползает в люльку *т*, при вращении которой от мотора *л* моток набрасывается на крюк *н* кругового транспортера.

В моталках с неподвижным барабаном полоса после каждого оборота скручивается на 360°, что не имеет значения для круг-

лого профиля. Квадратную же проволоку по этой причине сматывать нельзя.

В моталках с вращающимся барабаном (рис. 193) полоса от стана по трубке 4 поступает в пространство между кожухом 5

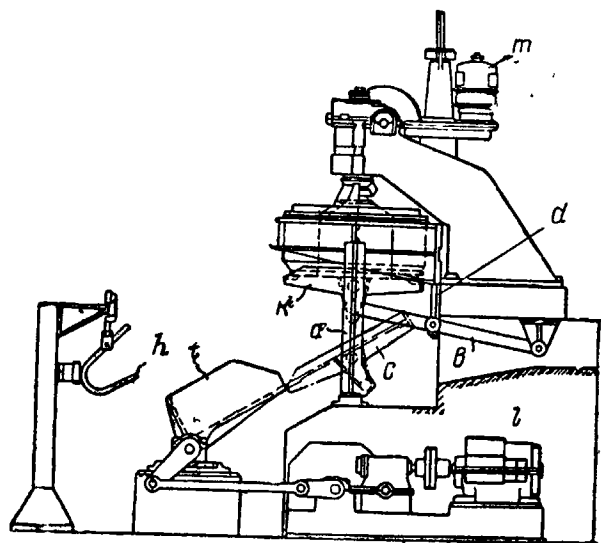


Рис. 192. Моталка с неподвижным барабаном новой конструкции

и барабаном 1 и наматывается на этот последний. Барабан приводится в движение от мотора 2 посредством зубчатой передачи.

Через полый вал 3 проходит шпindel 7, который при подъеме откидывает крючки 8, и смотанный бунт падает вниз. Подъем и опускание шпинделя производятся от отдельного электромотора. В моталках с вращающимся барабаном выбрасывание бунта связано с остановкой мотора и последующим его запуском. По конструктивным соображениям моталки с вращающимся барабаном применяются для сматывания проволоки со скоростью 10 м/сек.

С моталок с вращающимся барабаном бунты сбрасываются на цепной транспортер, с которого они потом передаются на крюковой конвейер (рис. 194) приспособлением, аналогичным описанному выше.

Длина крюкового конвейера рассчитывается, исходя из времени охлаждения бунтов, равного 75—90 мин. В соответствии с этим выбирается и скорость движения конвейера. Мотки с крюков при подходе к разгрузочной площадке сбрасываются автоматически путем поворота крюка около своей оси при соприкосновении конца его с специальным роликом. Укладка бунтов на склад и погрузка их в вагоны производятся краном посредством С-образной скобы (рис. 195).

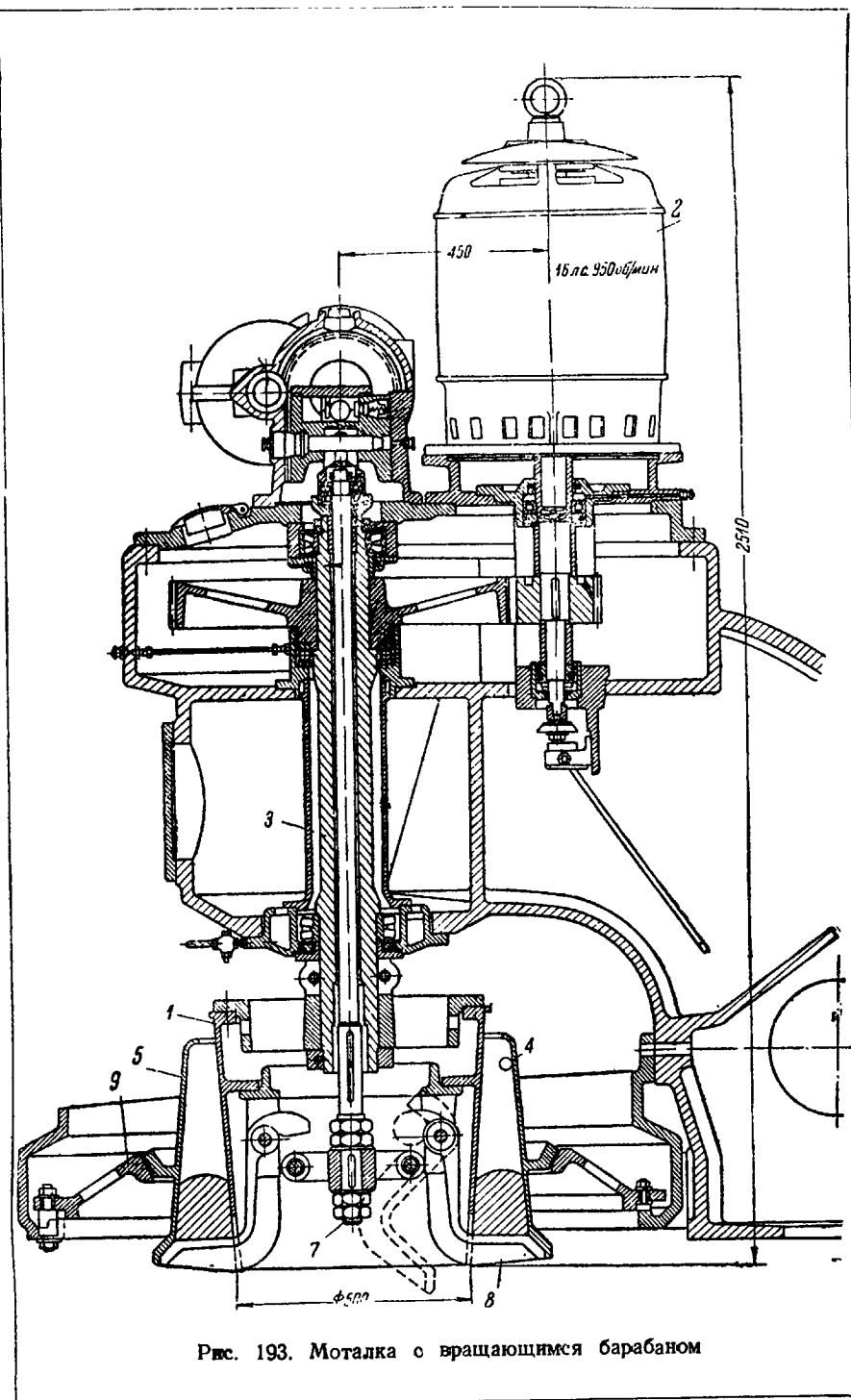


Рис. 193. Моталка с вращающимся барабаном





нущими роликами на рольганг, по которому направляется к первой клетке стана.

Между печью и станом имеются ножницы для резки горячей заготовки на части, если это требуется.

Стан состоит из 12 клеток.

Первые 8 клеток образуют две черновые непрерывные группы с шестью и двумя клетями соответственно.

Клетки первой черновой группы имеют валки  $\varnothing 350 \times 800$  мм, приводимые в движение мотором постоянного тока мощностью 2500 л. с.,  $n = 300 \div 600$  через редукторы с цилиндрическими колесами.

Во второй черновой группе валки имеют диаметр 300 мм и длину 800 мм. Для привода их служит мотор 1000 л. с.,  $n = 275-600$ .

Чистовая линия состоит из двух шестеренных и четырех рабочих клеток переменное дуо с валками  $\varnothing 250 \times 700$  мм. Каждые две клетки приводятся отдельным мотором мощностью 1000 л. с. с числом оборотов в минуту, регулируемым в пределах 275—600. В соответствии с этим скорость прокатки может меняться от 4 до 8,0 м/сек.

Готовый продукт может иметь два направления:

1. Если металл прокатывается в прутках, то поступает на сдвоенный реечный холодильник длиной 125 м и шириной каждой половины 8 м. Между холодильником и станом установлены вращающиеся ножницы, которые могут резать на части одновременно четыре нитки.

2. Для выпуска продукта в мотках за станом установлены 4 мотвила с вращающимся барабаном для сматывания проволоки диам. 8—14 мм в бунты весом 80—140 кг, которые затем сбрасываются на крюковой конвейер, доставляющий их на специальный склад для проволоки.

### 8. Стан 250 непрерывный

Если проследить за развитием мелкосортных станов, то можно отметить следующие основные этапы. Первые такие станы строились с 3—4 клетями, расположенными в одну линию. Прокатка на них производилась без петлеания. Последующее улучшение заключалось в увеличении числа клеток в этой одной линии до 6—7, причем прокатка в первых клетях шла «полосой», а в последующих — петлей, что позволило увеличить вес прокатываемой полосы. Дальнейшие улучшения, как мы уже знаем, были связаны с расположением клеток в 2, 3 и даже 4 линии. На этом развитие стана линейного типа надо считать закончившимся; на смену ему пришел полунепрерывный стан — более механизированный и более производительный.

Однако и у этого стана имеется существенный недостаток, заключающийся в наличии ручной работы на чистовой линии, лимитирующей производительность стана. Поэтому естественно

возникла мысль о постройке непрерывных сортовых станов, что и осуществилось на ряде установок. Следует, однако, отметить, что непрерывные сортовые станы не получили пока должного развития и до сих пор еще предпочитают устанавливать полунепрерывные станы как более гибкие по сортаменту.

В этом отношении мелкосортные станы, несомненно, отстали в развитии от станов других типов. Все крупные и средние размеры сортового металла прокатываются на механизированных

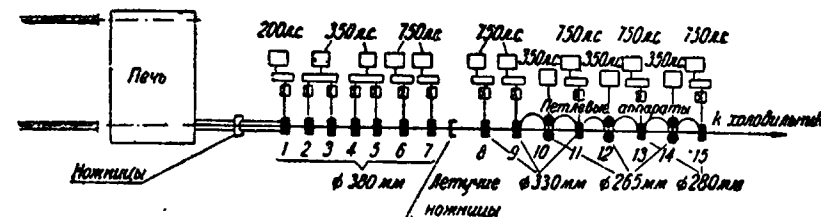


Рис. 197. Стан 250 непрерывный

станах с последовательным расположением клеток; для таких видов продукта, как проволока, лента и листы, уже давно утвердился непрерывный принцип прокатки. Надо полагать, что причина задержки распространения непрерывных мелкосортных станов лежит не в недостатке конструкции этих станов, а исключительно в экономике. Известно, что развитие прокатного производства за последние годы шло, главным образом, в направлении установки непрерывных листовых и частично крупносортовых и проволочных станов. Надо полагать, что непрерывный метод прокатки мелкосортного металла в ближайшие годы получит должное развитие, имея в виду те значительные усовершенствования, которые сделаны в последнее время в электроприводе и аппаратуре для прокатных станов, позволяющих автоматически регулировать процесс.

Ниже приведено описание непрерывного прокатного стана (рис. 197).

На стане прокатывается следующий основной сортамент:

Сталь круглая . . . . .	от 8 до 22 мм
Сталь квадратная . . . . .	9,5 • 20 •
Сталь полосовая . . . . .	от 16×3,2 ÷ 9,5 до 115×3,2 ÷ 4,7 мм

(наибольшая толщина для некоторых размеров полосовой стали достигает 22 мм).

Сталь угловая . . . . .	от 16×16 до 51×51 мм
Рессора шириной . . . . .	до 102 мм
Лента . . . . .	от 16×2,7 ÷ 4,7 до 115×2,7 ÷ 4,7 мм

Исходным материалом служит заготовка квадратная от 45 до 89 мм и плоская до наибольших размеров 132×45 мм. Заготовки нагреваются в печи с длиной пода 13,7 м. Непосредственно за печью расположены ножницы для резки заготовки на части, если это требуется.

Стан состоит из 15 клеток дуо, в числе которых имеется 12 клеток с горизонтальными и 3 клетки с вертикальными валками. Все клетки разбиваются на две группы — черновую с семью клетями и чистовую с восемью клетями. Характеристика валков и их приводов дана в табл. 51.

Таблица 51

№ клетей	Валки		Число оборотов валков в мин.	Мощность моторов л. с.	Примечание
	диаметр мм	длина бочки мм			
1	380	710	15—30	200	Общая мощность всех моторов равна 7200 л. с.
2	380	710	20—40	350	
3	380	710	27—54		
4	380	710	35—70	350	Клетки № 10, 12 и 14 имеют верти- кальные валки
5	380	710	45—90		
6	380	710	58—116	750	
7	380	710	72—145	750	
8	330	610	105—210	750	
9	330	610	130—260	750	
10	266—370	458	175—350	350	
11	330	610	222—444	750	
12	266—370	458	270—540	350	
13	280	458	400—800	750	
14	266—370	458	330—660	350	
15	280	458	400—800	750	

Таблица 52

№ клетей	Форма калибра	Размеры калибра мм×мм	Площадь сечения см²	Коэффициент вытяжки	Число оборо- тов моторов в мин.
0		63,5×63,5	40,7	—	—
1		Х о л о с т о й			
2		Х о л о с т о й			
3	Плоский	69,8×48	32,1	1,27	435
4	Овал	79,4×41,3	26,0	1,23	
5	Круг	50,2	19,8	1,31	420
6	Овал	60,3×33,3	16,2	1,22	
7	Круг	39,7	12,5	1,30	375
8	Овал	50,8×23,8	8,85	1,41	395
9	Круг	30,1	7,15	1,24	460
10	Свал	41,3×16,7	5,20	1,37	435
11	Круг	23,8	4,49	1,16	410
12	Овал	34,9×13,5	3,25	1,38	445
13	Круг	18,7	2,73	1,15	450
14	Овал	23,8×13,5	2,40	1,14	495
15	Круг	15,9	2,03	1,18	600

Начиная с 9-й клетки и до последней между каждыми двумя клетями имеются пеглообразователи, которыми полоса направляется вниз (при прокатке полосовой, угловой стали и т. п.) или вбок (при прокатке круглой, квадратной стали). Скорость прокатки в последней клетки достигает 11,7 м/сек. Регулировка числа оборотов производится операторами с пульта управления.

Между 7 и 8-й клетями установлены летучие ножницы для обрезки концов.

В табл. 52 и 53 приведены схемы прокатки для круглой стали Ø 16 мм и угловой стали 25,4×25,4×3,2 мм.

Как видно из этих таблиц, калибровка валков черновых клеток выполнена по системе овал — круг, при которой лучше обеспечиваются захват полосы и настройка стана.

Готовый продукт направляется на двусторонний холодильник длиной 140 м и на два мотовила для сматывания гаечной и болтовой стали. С мотовил бунты передаются на конвейер, который доставляет их на склад.

Таблица 53

№ клетей	Форма калибра	Размеры калибра	Площадь сечения см²	Коэффициент вытяжки	Число оборо- тов моторов в мин.
0		50,8×50,8	25,8	—	—
1		Х о л о с т о й			
2	Овал	66,7×31,7	16,8	1,54	595
3	Круг	38,1	11,5	1,46	
4	Овал	52,4×23,8	8,65	1,33	585
5	Круг	30,1	7,21	1,20	
6	Овал	41,3×17,5	6,30	1,15	500
7	Круг	27	5,72	1,10	445
8	Фасонный	33,3×9,5	4,03	1,42	500
9	„	39,7×6,4	3,38	1,19	485
10	„	36,5×6,4	3,19	1,06	380
11	„	38,1×4,7	2,34	1,26	400
12		Х о л о с т о й			
13	Фасонный	39×3,6	1,82	1,29	335
14		Х о л о с т о й			
15	Фасонный	25,4×25,4×3,2	1,52	1,20	400

Среднюю производительность стана можно принять в 250 тыс. т в год. При более ходовых профилях эта цифра может быть повышена до 300 тыс. т. При прокатке отдельных профилей производительность стана может достигать 66 т в час и будет зависеть от возможной пропускной способности печи.

### 9. Комбинированные сортовые станы

На практике часто встречаются случаи, когда на одном стане требуется прокатать такой сортамент профилей и размеров, ко-

торый нормально выполняется на двух или даже трех станах. Если, например, требуется прокатать сортамент по кругу от 8 до 50 мм на одном стане, то в его состав должен быть включен полный набор клеток стана 300 с последовательным расположением клеток для прокатки  $\varnothing 19-50$  мм и добавочные клетки с валками диам. 250 мм для прокатки  $\varnothing 8-18$  мм, причем в этом послед-

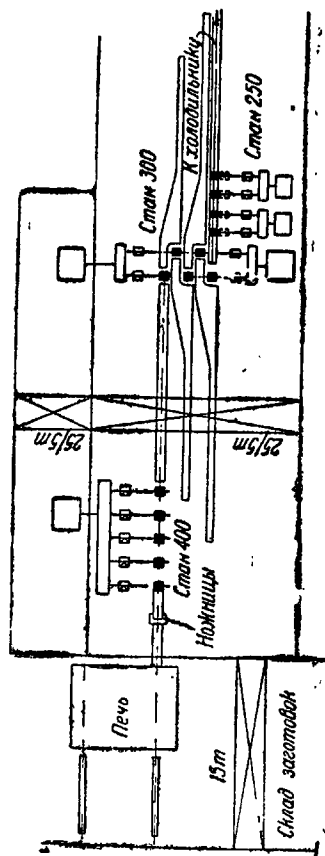


Рис. 198. Комбинированный стан

нем случае клетки стана 300 используются как черновые и подготовительные. Схема такого стана изображена на рис. 198. В нее включается следующее оборудование:

1. Печь для нагрева заготовок квадрат 45—100 мм длиной 9 м.
2. Непрерывная черновая линия из пяти клеток с валками диам. 400 мм.
3. Шахматная группа из пяти клеток с валками диам. 300 мм.

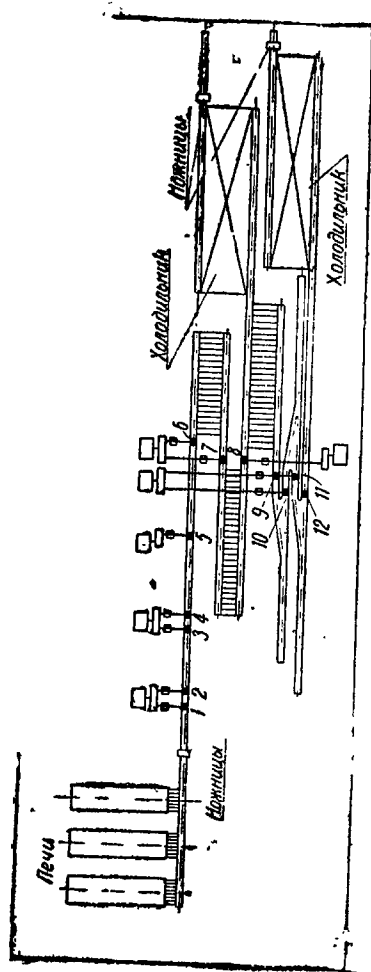


Рис. 199. Комбинированный стан

4. Непрерывная чистовая линия из четырех клеток с валками диам. 250 мм.

Все профили, прокатываемые «полосой» (диам. 19—50 мм), выпускаются из 10-й клетки. Линия 250 в этом случае не работает и последние четыре клетки отодвигаются в сторону.

Если же требуется прокатывать профили петель (диам. 8—18 мм), то клетки 250 ставятся за 10-й клетью.

Прокатка в шахматных клетях в этом случае ведется петлями с применением обводок. При добавлении еще двух клеток к непрерывной чистовой линии можно прокатывать проволоку диам. 6 мм.

На рис. 199 приведена схема расположения комбинированного стана  $\varnothing 400-300$  мм, который прокатывает круглую сталь диам. 19—125 мм, полосовую сталь от  $25 \times 10$  до  $250 \times 60$  мм и соответствующие им другие профили. Стан состоит из 12 клеток: шесть из них имеют диаметр валков 450 мм, две диам. 400 мм и четыре диам. 300 мм. Более крупные профили выпускаются из 8-й клетки на холодильник № 1, мелкие — из 12-й клетки на холодильник № 2. По сортаменту этот стан заменяет три стана — 300, 350 и 450.

Комбинированные станы требуют больших затрат на установку, чем обычные сортовые станы. Но если учесть, что по сортаменту они заменяют собой два или три стана, то для некоторых условий они могут применяться с достаточной рентабельностью. В большинстве случаев их установка оправдывается при малых сравнительно масштабах производства.

## 10. Характеристика брака сортового металла

Прежде всего необходимо точно определить понятие брака готового прокатного изделия вообще и в частности сортового металла. Если строго рассуждать, то под браком следует понимать продукт, имеющий те или иные отступления от заданных технических условий. Практически, однако, под браком понимают изделие в таком виде, в котором оно может быть использовано только как лом. Таким образом, в категорию брака обычно зачисляют недокат и готовое изделие с такими изъянами, как крупные рванины, не поддающиеся исправлению вырубкой, следы пережога и др. Прокатные изделия со всеми остальными дефектами зачисляются во второй сорт, количество которого нормально равно 0,5—1%. Следует заметить, что из стана металл получается с большим количеством дефектов, но значительная часть их удаляется зачисткой на складе.

Все дефекты, как уже указывалось раньше (см. главу 5), делятся на две основные категории: брак сталеплавильного производства и брак прокатного производства. Виды дефектов сталеплавильного производства известны, это — плены, рванины, трещины волосины, неметаллические включения, непопадание в анализ, неудовлетворительные механические свойства.

В прокатном цехе наиболее характерным дефектом является неправильный профиль как в отношении очертания, так и в смысле точности размеров. Понятно, что для разных профилей этот дефект будет выражаться различно. Поэтому рассмотрим только несколько характерных случаев.

Сравнительно часто полоса после прокатки получается с заусенцами (рис. 200 а, б, в). Это происходит в тех случаях, когда в данный калибр из предыдущего поступает большее сечение

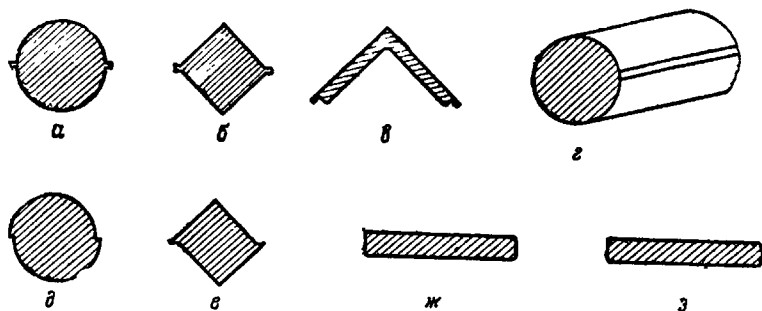


Рис. 200. Виды брака сортового металла

металла, чем требуется, или задача полосы в данный калибр задерживается. Из-за этого полоса пристывает и прокатка ее происходит при пониженной температуре и с большим уширением.

Стан обычно настраивается на получение профиля среднего размера с тем, чтобы можно было укладываться в допуски при некоторых отклонениях температуры металла в случае задержек в прокатке полосы или, наоборот, в случае быстрого ее прохождения. Если полоса с пониженной температурой прокатывается в подготовительных калибрах с образованием заусенцев, то в чистовом калибре она получается с закатами или рубцами, представляющими собой смятые заусенцы (рис. 200, г).

Если металл прокатывается слишком горячо, то чистовой калибр не выполняется, что приводит к получению овального профиля вместо круглого, угловой стали с невыполненным углом при вершине и закругленными полками и т. д. При сдвинутых по оси валках получается характерный дефект профиля круглой и квадратной стали, показанный на рис. 200, д и 200, е; в угловой стали это приводит к получению профиля с разной толщиной полок. Полосовая сталь может получаться: с закругленными или невыполненными углами (рис. 200, ж), если исходный квадрат взят с меньшими размерами против требуемых, с выпуклыми кромками (рис. 200, з) при неудовлетворительном ребровом калибре или при недостаточном обжатии в нем.

Все указанные дефекты профиля получаются в результате неправильной настройки стана или прокатки с ненормальной температурой. Следовательно, борьба с ними должна заключаться

в правильной настройке стана, систематической проверке ее путем взятия пробных кусков, в корректировании настройки и, наконец, в поддержании надлежащего температурного режима прокатки.

Большое значение имеет правильный температурный режим для получения требуемых механических качеств при прокатке сталей некоторых марок, чаще всего крупных размеров круглого, квадратного и полосового профилей. При прокатке таких крупных размеров общая вытяжка получается значительно ниже, чем при прокатке мелких размеров. Поэтому чрезвычайно важно иметь надлежащую температуру конца прокатки для получения удлинения требуемой величины. Эта температура не должна быть ниже точки  $A_3$ , так как может получиться наклеп и понижение удлинения. Если же температура конца прокатки будет значительно выше точки  $A_3$ , то получится крупное зерно и опять не будет получаться надлежащее удлинение. Поэтому температура конца прокатки в этих случаях должна держаться лишь немного выше точки  $A_3$ . Правильность ее должна обеспечиваться непрерывным контролем.

## 11. Склады готового продукта

Сортовой металл после резки и правки, а иногда и без этой последней, поступает на склад, где до отправки проходит следующие операции: наружный осмотр; сортировку; зачистку внешних дефектов; раскладку для предъявления приемщикам; отбор и изготовление проб для производства механических испытаний и химического анализа; клеймение и маркировку; упаковку, взвешивание и укладку в штабели перед отправкой; отправку. В некоторых случаях требуются еще дополнительные работы по резке и правке. Объем операций на складе зависит от вида и качества готового продукта, а также от состава оборудования стана и методов работы на нем. Например, на многих сортовых станах отсутствуют правильные машины, и металл поступает на склад, будучи выправленным только на холодильнике. Для одних профилей такую правку можно считать достаточной (например, для круга, квадрата, полосы), для других же (главным образом, фасонных) необходима дополнительная правка, для которой на складе устанавливаются роликовые машины и штемпельные прессы.

Выполнение всех работ на складе связано с необходимостью иметь определенную площадь для складывания и раскладывания металла при производстве тех или иных операций и для хранения металла, ожидающего отправки. В современных сортопрокатных цехах необходимая площадь склада готового продукта может быть определена из расчета 40—50 т годовой производительности станов на 1 м<sup>2</sup> площади, принимая последнюю брутто, т. е. со включением площади, требуемой для размещения выходящего на склад оборудования (ножниц, ролгангов, сборочных карманов) и железнодорожных путей и дорог для автотранспорта.

Склады готового продукта строятся отдельные для каждого стана или общие для всех станов. В первом случае склад располагается в общем пролете здания со станом, на продолжении этого последнего. Во втором случае склад располагается в конце зданий всех станов так, что оси пролетов склада проходят перпендикулярно осям зданий сортовых станов (поперечное расположение складов). Такое расположение склада предпочитается как более удобное в отношении погрузочных работ: часто приходится в одни и те же вагоны грузить металл с разных станов. Склады на новых заводах имеют три пролета с расстоянием между подкрановыми путями 30—31,5 м в каждом из них.

Такие пролеты взяты не только по соображениям получения необходимой площади, но и для возможности транспортировки полос максимальной длины 25 м. В каждом пролете имеется достаточное количество кранов для транспорта металла и погрузки его в вагоны. Краны применяются с траверсами, с грузоподъемностью 10—15 т. Число таких кранов на складах сортопрокатных цехов больших заводов достигает 20—30. В пролеты склада выходят сборочные карманы станов, от разных станов — в разные пролеты. Склад перерезается погрузочными путями, число которых должно быть достаточным для обеспечения необходимого фронта погрузки. Например, на складе одного завода имеется 12 погрузочных путей с возможной постановкой 110 вагонов. Кроме того, при таком расположении склада должно быть предусмотрено несколько замкнутых путей с вагонами на них, служащими для передачи металла из одного пролета в другой. Склады могут вмещать до 25 тыс. т металла (примерно, пятисуточный запас).

Как видно из сказанного, склад готового продукта современного прокатного цеха имеет огромное хозяйство с ответственными задачами: здесь завершается работа всего завода. На склад сортопрокатного цеха поступает металл от всех сортовых станов, т. е. самых разнообразных профилей, размеров, марок стали. Весь этот металл должен быть осмотрен, рассортирован, зачищен, подвергнут испытаниям, сдан, распределен по заказам и отправлен. Эти операции должны выполняться с наибольшей быстротой, так как в противном случае создается угроза завала склада металлом с большими осложнениями в дальнейшей работе. Поэтому правильной работе склада готового продукта на металлургическом заводе должно уделяться большое внимание.

## 12. Техничко-экономические показатели прокатки сортового металла

Расход металла. При прокатке сортовой стали расход металла тем выше, чем крупнее прокатываемый профиль и качественнее марка стали. Наибольший расход металла получается на станах 600—450 и наименьший — на станах 250. Станы 300 и 350 имеют промежуточные цифры. Это объясняется большей

потерей металла в обрезки при крупных профилях, которые прокатываются в сравнительно коротких полосах и режутся на части мерной длины. В соответствии с этим можно принять следующие практические цифры выхода годного из заготовки на разных станах:

Станы	Выход годного %	Коэффициент расхода металла
600—450	91	1,099
350	92	1,087
300	93	1,075
250	94	1,064

Это — средние цифры. Для отдельных профилей и марок стали расход металла будет колебаться в значительной степени. Например, на станах 600—450 он будет составлять 94% для простых профилей мягкой стали и снижаться до 85% для специальных сортов крепкой стали.

Следует отметить, что приведенные данные относятся к станам современных типов, принятым у нас как стандартные (станы с последовательным расположением клетей, шахматные, полунепрерывные). Для станов линейного типа, как имеющих иное распределение сортамента, цифры расхода металла, находясь в тех же общих границах (91—94%), должны распределяться по станам несколько иначе.

Расход топлива. На сортовых станах вся заготовка сажается в печи в холодном состоянии. Расход условного топлива в этом случае принимается равным 500—600 тыс. кал на тонну нагреваемого металла. Первая величина относится к станам, на которых прокатка ведется из мелкой заготовки (квадрат 38—75 мм), вторая — к станам, применяющим более тяжелые заготовки (квадрат 125—250 мм).

Расход электроэнергии. Совершенно понятно, что при прокатке широкого сортамента сортового металла расход энергии колеблется в значительных пределах. Он зависит от вида профиля, размера его, размера исходного бруса, сляба или заготовки, марки стали и рода вкладышей валков (бронзовые, текстолитовые или роликовые). Учесть влияние всех этих факторов в настоящих условиях невозможно. Систематизированные практические данные, характеризующие в той или иной степени взаимозависимость между указанными факторами, отсутствуют.

Имеются только цифры расхода электроэнергии, относящиеся к отдельным случаям прокатки тех или иных профилей сортового металла при определенных условиях работы. Некоторые отклонения от этих условий могут значительно влиять на эти данные. Надо еще отметить, что и по одним и тем же станам в разное время расход энергии может меняться довольно заметно, в зависимости от того, какой сортament прокатывался на данном стане.

На рис. 201 представлена кривая расхода энергии на сортовом стане в квт-ч на тонну металла в зависимости от величины удлинения. Эта кривая дает цифры, довольно близкие к тем, которые приведены в табл. 54.

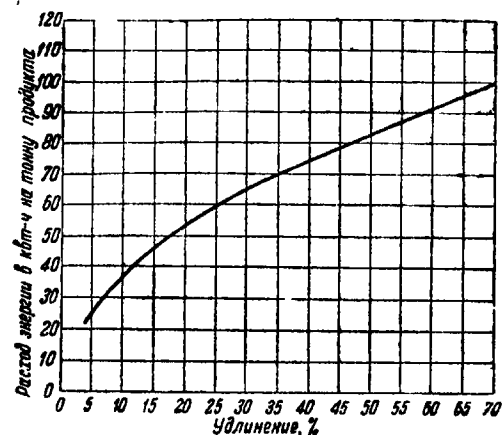


Рис. 201. Кривая расхода энергии на сортовом стане

Эти цифры включают энергию, расходуемую только главными моторами. К ним необходимо добавить еще 8—10 квт-ч на тонну, потребляемых вспомогательными моторами.

Если теперь применить приведенную кривую ко всем сортовым станам, то расход энергии составит (табл. 55):

Таблица 54

Прокатываемый профиль Ø мм	Удлинение %	Расход энергии на тонну, квт-ч	
		по исследованию	по кривой
41,0	7,6	43,3	35,0
28,5	12,3	53,0	45,0
25,4	15,5	53,3	49,0
25,5	19,7	57,7	55,0
22,2	25,8	57,8	60,0
19,6	35,0	74,5	70,0
16,0	50,0	75,8	82,0
12,7	73,0	112,5	100,0
12,7	62,0	101,5	92,0

Таблица 55

Станы	Среднее удлинение, %	Средний расход энергии на тонну, квт-ч		Сумма
		главные моторы	вспомогательные моторы	
600	10	38	10	48
450	15	48	10	58
350	20	55	10	65
300	25	60	10	70
250	35	70	10	80

Расходы воды и валков приведены в табл. 56.

Таблица 56

Станы	Расход воды на тонну проката м³	Расход валков на тонну проката кг
600	8	2,2
450	10	1,8
350	12	1,2
300	15	1,0
250	18	0,7

## ГЛАВА 3

### ПРОКАТКА ПРОВОЛОКИ

#### 1. Сортамент и исходный материал

Под проволокой подразумевается готовый продукт, имеющий в большинстве случаев в поперечном сечении форму круга, реже — квадрата и в еще более редких случаях иную форму (овал, шестигранник, фасонный профиль).

Проволока изготавливается или только прокаткой, или прокаткой с последующим волочением. Поэтому различают проволоку катаную и тянутую. Точной границы между этими двумя категориями проволоки нет. Например, часто катаная и тянутая проволока выпускаются одинаковых размеров (Ø 6, 8, 10 мм). Протяжка проволоки таких больших размеров применяется с различной целью, например, для уменьшения допусков, полученных после прокатки, или для достижения соответствующих механических свойств и т. д. Поэтому можно говорить лишь о наименьшем размере, который выгодно получать путем горячей прокатки. Таким наименьшим размером в настоящее время считается круг Ø 5 мм.

В нашем стандарте имеется наименьший размер диаметром 5 мм, но практически прокатывается проволока диаметром не ниже 6 мм. Установление этих размеров, как предельных, обусловлено факторами экономического порядка. Следует отметить, что в последнее время имеются тенденции установить в качестве наименьшего диаметр катаной проволоки в 6 мм в связи с усовершенствованиями в волочильном производстве, позволяющими более выгодно получать размеры меньше 6 мм путем протяжки.

Верхний предел у большей части специальных проволочных станов не превышает 9 мм. Такой верхний предел для горячекатаной низкоуглеродистой проволоки установлен по нашему ГОСТ 502 — 41.

Итак, если рассматривать размеры проволоки в пределах диаметров 5—14 мм, то часть их, от 5 до 9 мм, прокатывается на специальных проволочных станках, размеры же выше 9 мм выпускаются сортовыми станками. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать сортамент проволочных станов в таких именно пределах.

Исходным материалом для прокатки проволоки на проволочных станках служат слитки, блумы и заготовки, причем слитки и блумы обычно применяются только на станках, на которых прокатка ведется петлями, на непрерывных станках проволока прокатывается только из заготовок.

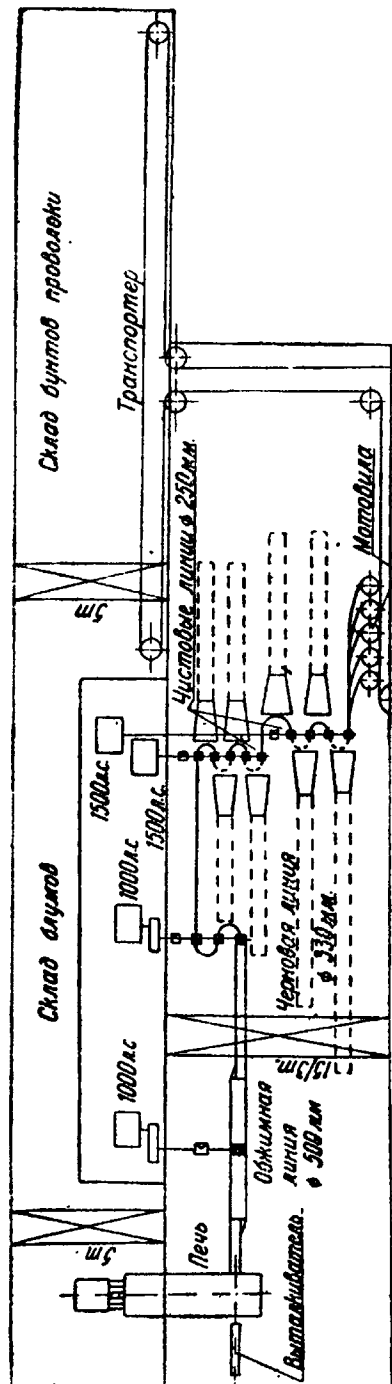


Рис. 202. Расположение проволочного стана линейного типа

Сечение слитков, блумов и заготовок находится в пределах  $45 \times 45 \div 200 \times 200$  мм. В соответствии с этим дается то или иное число пропусков при прокатке проволоки разных размеров. Например, на стане линейного типа одного завода проволока  $\varnothing 6,5$  мм прокатывается из слитков  $185 \times 185$  мм за 21 пропуск со средней вытяжкой:

$$\sqrt[21]{\frac{185 \cdot 185}{0,785 \cdot 6,5 \cdot 6,5}} = 1,247.$$

На другом заводе проволока  $\varnothing 5,5$  мм прокатывается из слитков  $153 \times 153$  мм за 21 пропуск со средней вытяжкой:

$$\sqrt[21]{\frac{153 \cdot 153}{0,785 \cdot 5,5 \cdot 5,5}} = 1,256.$$

На непрерывных станах проволока  $\varnothing 5$  мм прокатывается в 18 пропусков из заготовки  $55 \times 55$  мм. Средняя вытяжка за пропуск составляет:

$$\sqrt[18]{\frac{55 \cdot 55}{0,785 \cdot 5 \cdot 5}} = 1,323.$$

Вес слитков и заготовок зависит от веса мотка, различного для разных типов станов и размеров проволоки. На станах линейного типа вес мотка находится в пределах 50–80 кг, и вес слитка (или заготовки) берется из расчета получения двух мотков; на непрерывных станах из заготовки получается один моток, вес которого достигает 220 кг.

Типы станов. Для прокатки проволоки, как и для прокатки мелкосортного металла, применяются станы трех типов: линейный, полунепрерывный и непрерывный. На станах первых двух типов прокатка на чистовой линии ведется петлями, на непрерывном стане — без образования петель.

## 2. Проволочный стан линейного типа

Схемы расположения этого стана отличаются значительным разнообразием. Наиболее типичная из них представлена на рис. 202. Стан состоит из четырех линий, характеристика которых приведена в табл. 57.

Таблица 57

Наименование линий	Число клетей	Тип клетей	Диаметр шестеренных валков мм	Рабочие валки			Моторы		
				диаметр мм	длина бочки мм	число оборотов в мин.	мощность л. с.	число оборотов в мин.	ток
Обжимная	1	Трио	480	500	1500	120	1000	270	Переменный
Черновая	3	Переменное дуо	315	330	900	270	1000	270	То же
1-я чистовая	5	То же	240	250–290	700	500	1200	500	•
2-я чистовая	4	•	240	250–295	700	600	1200	600	•

По оборудованию этот проволочный стан аналогичен сортовому стану линейного типа, отличаясь от последнего тем, что здесь имеются две чистовые линии вместо одной, с двумя разными скоростями. Кроме того, холодильники здесь отсутствуют, так как весь продукт сматывается на пяти мотовилах.

Прокатка ведется из блума  $130 \times 130 \times 1000$  мм весом около 130 кг, из которого получается два мотка по 62 кг каждый. Блумы нагреваются в одной двухрядной методической печи. В табл. 58 приведена схема прокатки проволоки  $\varnothing 5,5$  мм, из блума  $130 \times 130$  мм, а на фиг. 203 дан график Адамецкого, составленный в соответствии с этой схемой.

Прокатка в обжимной клети идет с «перекрытием», с ритмом в 26 сек. По выходе из нее производится на ножницах обрезка концов и разрезка полосы на две части, которые последовательно поступают в черновую линию. Обводка между второй и третьей клетями черновой линии сделана передвижной, чтобы можно было вести прокатку, начиная с третьей клети этой линии, в две нитки. В дальнейшем число ниток возрастает до 3–4.



Скорость прокатки в последней клетке достигает 9,3 м/сек при 600 оборотах валков в минуту. Это число оборотов в проволочных станах является предельным при ручной работе, так как при дальнейшем увеличении скорости невозможно и опасно ловить полосу на ходу.

Прокатка проволоки на линейных станах связана с значительным понижением температуры металла к концу прокатки, проис-

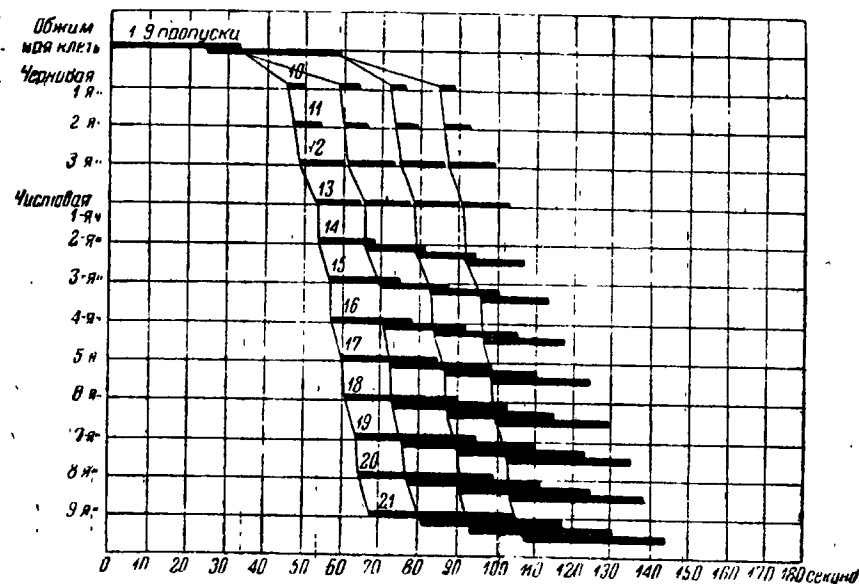


Рис. 203. График Адамецкого прокатки проволоки на линейном стане

ходящим: 1) вследствие большой продолжительности прокатки проволоки такого малого размера, как диам. 5—9 мм, достигающей 35—40 сек. в последнем пропуске, и 2) вследствие образования петель значительной длины, которые при соприкосновении с холодными плитами каналов теряют большое количество тепла.

На рис. 204 приведен график зависимости температуры конца прокатки от полной длины полосы проволоки диам. 5 мм. Из него видно, что при прокатке проволоки диам. 5—6 мм с полной длиной полосы 300—400 м, которая является обычной для таких станков, температура металла падает до 800—720°. Следовательно, разные места проволоки по длине мотка имеют разную температуру конца прокатки и, значит, разную структуру и неодинаковые механические свойства. Эта особенность процесса прокатки на линейных станах ограничивает вес мотка, так как чем больше этот последний при одинаковых условиях прокатки, тем сильнее ухудшается качество получаемого металла.

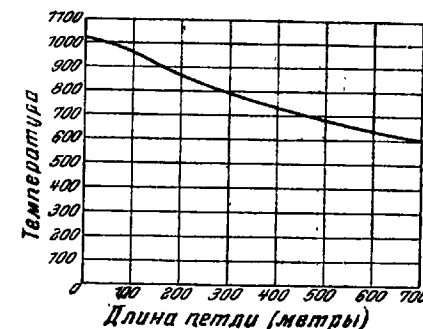


Рис. 204. График зависимости температуры конца прокатки от полной длины петли проволоки

Таблица 58

№ пропусков	Линия стана	Форма калибра	Площадь сечения, мм²	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска, м	Рабочий диаметр валков, мм	Скорость прокатки, м/сек.	Время прокатки, сек.	Паузы, сек.	Длина петли, м
0	—	Заготовка	16900	—	1,0	—	—	—	—	—
1	Обжимная	Ящичный	13500	1,25	1,25	400	2,5	0,5	1,0	
2		То же	10500	1,28	1,5	400	2,5	0,6	3,0	
3		„	7700	1,36	2,0	430	2,7	0,8	1,0	
4		„	6160	1,25	2,5	420	2,7	0,9	3,0	
5		„	4675	1,32	3,3	446	2,8	1,2	1,0	
6		Овал	3230	1,45	4,9	460	2,9	1,7	3,0	
7		Квадрат	2370	1,36	6,7	466	2,9	2,3	1,0	
8		Овал	1430	1,65	11,1	472	3,0	3,7	3,0	
9		Квадрат	930	1,54	17,1	480	3,0	5,7	13,0	
10	Черновая	Овал	530	1,75	15,0	320	4,5	3,3	1,0	
11		Квадрат	324	1,65	24,5	317	4,4	5,6	1,5	
12		Овал	170	1,90	47,0	313	4,3	10,9	4,5	
13	1-я чистовая	Квадрат	110	1,55	72	250	6,6	10,9	0,5	18,9
14		Овал	82	1,34	97	260	6,8	14,3	3,0	35,1
15		Квадрат	65	1,23	122	270	7,0	17,4	0,5	28,8
16		Овал	51	1,27	156	280	7,3	21,4	3,0	40,3
17		Квадрат	42,5	1,20	187	290	7,6	24,6	1,0	33,6

№ пропусков	Линия стана	Форма калибра	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Коэффициент вытяжки	Длина полосы после пропуска, м	Рабочий диаметр валков, мм	Скорость прокатки, м/сек.	Время прокатки, сек	Паузы, сек.	Длина петли, м
18	2-я чистовая	Овал	35	1,21	227	250	7,9	28,7	3,0	44,3
19	"	Квадрат	30	1,17	265	265	8,3	32,0	0,5	23,0
20	"	Овал	25	1,14	300	280	8,8	34,1	3,0	42,0
21	"	Круг	23,5	1,12	338	295	9,3	36,3		

Условия прокатки на линейных станах разные и зависят от числа линий, в которых располагаются чистовые клетки. Наиболее неблагоприятны условия на стане, где все чистовые клетки распо-

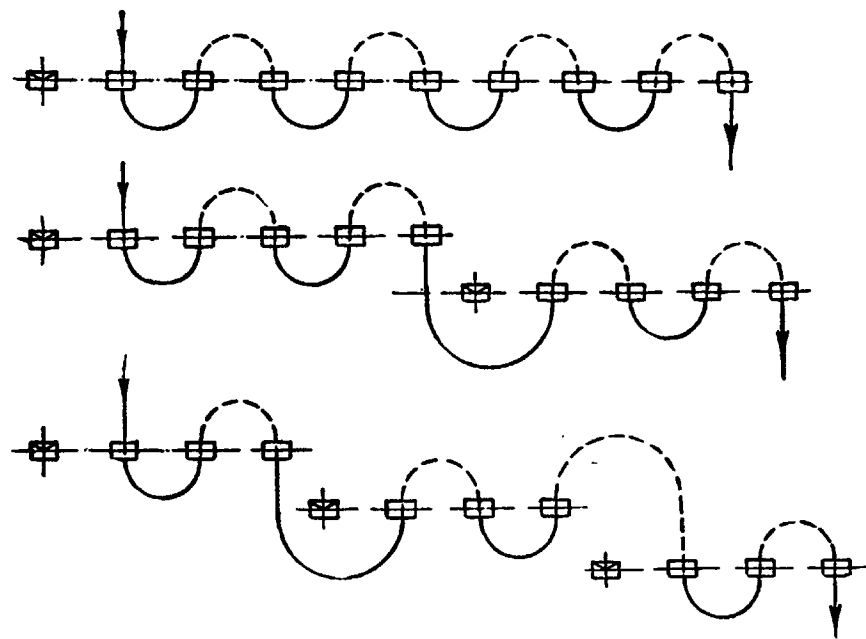


Рис. 205. Схема различного расположения клеток чистовой линии линейного проволочного стана

лагаются в одну линию и, следовательно, все валки имеют одинаковое число оборотов. Скорости прокатки в отдельных клетях здесь изменяются незначительно — настолько, насколько могут быть изменены диаметры валков. Практически величина этих пос-

ледних в большинстве случаев находится в пределах 240—310 мм. Значит, изменение диаметров при расположении клеток по рис. 205 может быть следующее:

при одной чистовой линии:

$$\frac{310-240}{8} = 8,8 \text{ мм, или } 3,2\% \text{ к среднему диаметру;}$$

при двух чистовых линиях:

$$\frac{310-240}{3} = 23,3 \text{ мм, или } 8,5\% \text{ к среднему диаметру;}$$

при трех чистовых линиях:

$$\frac{310-240}{2} = 35 \text{ мм, или } 12,7\% \text{ к среднему диаметру.}$$

Таким образом, чем больше чистовых линий имеется в стане, тем больше может быть разница в диаметрах валков. С увеличением же этой разницы длина петли будет уменьшаться. Это следует из формулы (58a) (стр. 275).

$$L = v_1 t_1 + \left( v_1 - \frac{v_2}{\mu} \right) t_2.$$

Первое слагаемое представляет собой часть петли, получающуюся за время паузы, второе — ту часть петли, которая образуется за время одновременной прокатки в двух соседних клетях. Рассмотрим сначала второе слагаемое. При одном и том же значении величина этого слагаемого тем меньше, чем больше  $v_2$ , или, иначе, чем больше диаметр валков. Это слагаемое обращается в нуль при условии, что

$$v_1 - \frac{v_2}{\mu} = 0,$$

так как  $t_2$ , естественно, не может равняться нулю. Из последнего равенства получаем:

$$\frac{v_2}{v_1} = \mu.$$

Это условие можно выполнить только при непрерывной прокатке. Действительно, выше мы характеризовали процесс непрерывной прокатки следующим образом:

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = \text{const.}$$

Откуда следует:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2}{v_1} = \mu.$$

Это последнее выражение можно написать и так:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{D_2}{D_1} = \mu,$$

т. е. отношение площадей двух соседних калибров должно быть обратно пропорционально диаметрам валков и равно вытяжке. Но мы еще видели, что:

1) отношение  $\frac{D_2}{D_1}$  находится в пределах 1,032—1,127, причем последний коэффициент получается при ненормально большой разнице в диаметрах валков, вызывающей значительный перекося шпинделей, что, как известно, влечет за собой быстрый износ муфт, шпинделей и валковых тренов;

2) значение  $\mu$  далеко превышает отношение  $\frac{D_2}{D_1}$ ; как видно из табл. 58,  $\mu = 1,12—1,55$  для разных пропусков; таким образом, только в последних трех пропусках  $\mu$  может быть близко к отношению  $\frac{D_2}{D_1}$  при расположении чистовой линии в три ступени и, следовательно, только в этом частном случае можно близко подойти к созданию условий непрерывной прокатки.

Однако это еще не значит, что мы избавимся от петель. Расчеты показывают, что при задаче овалов вручную первое слагаемое равенства (58 а) больше второго и составляет 55—65% от общей длины петли. Действительно, если мы обратимся к табл. 59, то увидим, что за время задачи в валки последнего овала образуется петля длиной

$$8,8 \times 3 = 26,4 \text{ м},$$

которая составляет 63% общей длины петли (42 м). Первая овальная петля за время задачи в валки получается длиной 20,4 м ( $6,8 \times 3$ ), или около 58% от общей длины. Это говорит о том, что при расчете длины петель в линейных проволочных станах нельзя пренебрегать величиной пауз, как это делает Э. Ришарм<sup>1</sup>.

Время паузы и связанное с ним образование петель могли бы быть сокращены при осуществлении автоматической задачи овалов. Но так как эта последняя неизбежно влечет за собой получение неточного профиля, то обычно овалы задаются вручную.

**Производительность проволочных станков линейного типа. Выход годного**

Как следует из разработанного графика, стан выпускает моток проволоки весом 62 кг через каждые 13 сек. В соответствии с этим технически возможная часовая производительность стана составляет:

$$A = \frac{3600 \cdot 0,062}{13} = 17,1 \text{ т.}$$

Практическую производительность получаем умножением полученной величины на коэффициент 0,8:

$$A_1 = 17,1 \times 0,8 = 13,7 \text{ т.}$$

Эта величина учитывает только потери на угар и концы и со-

<sup>1</sup> Э. Ришарм, Прокатные станы стальные и проволочные, перевод с французского под общей редакцией инж. В. Шировского. ГИЗ, 1930, стр. 195.

вершенно не учитывает тех недокатов, которые неизбежно получаются на проволочных станах при спутывании петель. Эти потери достигают 5%. Следовательно, часовое количество готового продукта составит

$$13,7 \times 0,95 = 13 \text{ т.}$$

На основании этих цифр можем определить выход годной проволоки из заготовки

$$100 \times \frac{62}{65} \times 0,95 = 90,5\%.$$

Годовая производительность стана при 6300 часах работы получается равной:

$$13 \times 6300 = 80\,000 \text{ т.}$$

Как видим, фактором, определяющим производительность проволочного стана, показанного на рис. 202, является пропускная способность обжимной клетки, так как остальные линии могут принять больше металла. Теоретически ритм прокатки, начиная с третьей чистовой клетки, может быть принят в 7,2 сек. (рис. 203). Значит, при усилении обжимной линии производительность стана может быть повышена. Это усиление может быть достигнуто путем уменьшения сечения заготовки или путем добавления клеток. В обоих случаях число пропусков (в одной клетке) уменьшается до семи или пяти. В соответствии с этим производительность стана изменяется следующим образом (табл. 59).

Таблица 59

Сечение заготовки мм	Число пропусков	Ритм прокатки в обжиме сек.	Ритм прокатки в чистовой линии, сек.	Производительность стана в год т
100×100	7	20,9	10,5	100 000
80×80	5	15,2	7,6	138 000

### 3. Полунепрерывный проволочный стан

Этот стан сохраняет метод прокатки петлями в чистовой линии. Поэтому вес мотка здесь остается тот же, что и на стане линейного типа. Отличие полунепрерывного стана от этого последнего заключается в том, что обжимные и черновые клетки здесь конструируются как непрерывные и, следовательно, могут обеспечить полностью пропускную способность чистовой линии, где число одновременно прокатываемых ниток доходит до 6—7. При продолжительности прокатки в последней клетке в 36,3 секунды получаем при 6 нитках ритм прокатки 6 сек. ( $36,3 : 6$ ). Таким образом, при замене клеток в обжимной и черновой линиях непрерывными можно увеличить производительность стана до 175 тыс. т в год.

исходя из следующего расчета: практическая часовая производительность составляет

$$A_1 = \frac{3600 \cdot 0,062}{6} \times 0,8 = 29,8 \text{ т,}$$

годовая производительность с учетом 5% брака:

$$29,8 \times 0,95 \times 6300 = 175\,000 \text{ т.}$$

Расположение полунепрерывного проволочного стана показано на рис. 206. Нагрев заготовки  $130 \times 130 \times 1500$  мм весом 195 кг производится в двух методических печах с торцевой выдачей.

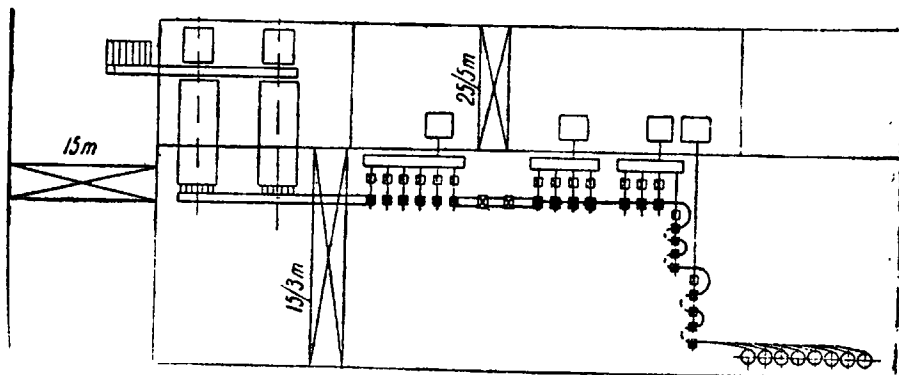


Рис. 206. Полунепрерывный проволочный стан

Стан имеет 13 непрерывных черновых клетей и 8 чистовых клетей переменного дуо. Непрерывные клетки разбиты на три группы. Характеристика клетей дается в табл. 60.

Таблица 60

Группы	Число клетей	Диаметр валков мм	Длина бочки мм	Мощность двигателя л. с.
1-я непрерывная . . . . .	6	410	900	1500
2-я . . . . .	4	325	900	1200
3-я . . . . .	3	325	900	2200
1-я чистовая . . . . .	4	250—290	700	1800
2-я . . . . .	4	250—290	700	

По выходе из первой непрерывной группы полоса режется двумя ножницами на три части, которые поступают в три ряда калибров второй черновой группы. В чистовой клетке устанавливается 7 коробок; в соответствии с этим мотовил имеется восемь, из которых одно является запасным на случай ремонта.

Число одновременно прокатываемых ниток здесь вдвое больше, чем на проволочном стане линейного типа, поэтому точность профиля ниже, чем на последнем, из-за большего пружинения вала.

#### 4. Непрерывный проволочный стан

Процесс прокатки на этом стане принципиально отличается от процесса на станах первых двух типов. Основное отличие заключается в отсутствии петель. Если в отдельных клетях и допускают образование их для разрыва сплошного натяжения, то такие петли не характерны для этого стана, так как число их невелико и длина незначительна.

Второе отличие заключается в том, что первая клеть располагается близко к нагревательной печи, на расстоянии всего около 2 м. Вследствие этого большая часть заготовки, имеющей длину 9 м, находится в печи и выходит из нее постепенно по мере продвижения предыдущей части через стан (примерно по 150 мм/сек), причем, когда передний конец заготовки достигает мотовила, задний находится еще в печи. Благодаря этому заготовка сохраняет тепло в течение продолжительного времени. Кроме того, полоса к последней клетке приходит быстрее, чем в предыдущих станах, как видно из следующих данных о времени от выхода заготовки из печи до прихода к последней клетке:

Стан линейного типа . . . . .	50—60 сек.
.. полунепрерывный . . . . .	35—45 "
.. непрерывный . . . . .	30—35 "

Совокупное влияние двух указанных выше факторов позволяет иметь время прокатки в последней клетке до 65 сек. вместо 35—40 сек. в предыдущих станах. В соответствии с этим вес мотка на непрерывном стане можно увеличить на 60—80% по сравнению с весом его на петлевом стане, т. е. до 100—110 кг при одинаковых скоростях прокатки в отделочных клетях того и другого станом. Но в современных непрерывных станах скорость прокатки в последней клетке принимают равной 20—22 м/сек, т. е. на 100% с лишним больше, чем при ручной задаче. В соответствии с этим и вес мотка достигает 220 кг.

Первый непрерывный стан был изобретен в 1862 г. Он состоял из чередующихся клетей с горизонтальными и вертикальными валками, общим числом 12. В течение около 30 лет этот стан не применялся, и только в начале 90-х годов прошлого столетия непрерывный стан вновь появился благодаря введенным усовершенствованиям. В настоящее время непрерывный проволочный стан является единственным современным проволочным станом.

На рис. 207 представлен непрерывный проволочный стан, предназначенный для прокатки проволоки диам. 5—8 мм из заготовки  $54 \times 54 \times 9000$  мм весом около 220 кг.

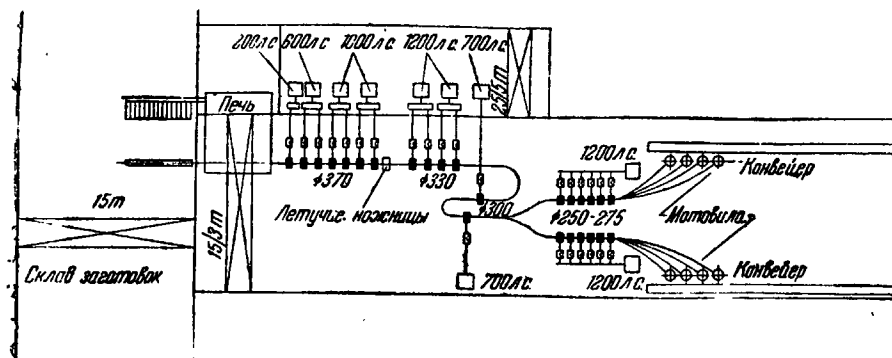


Рис. 207. Непрерывный проволочный стан

Стан имеет всего 25 клетей, расположенных в 5 групп; характеристика их приведена в табл. 61.

Таблица 61

Наименование линий	число клетей	Рабочие валки			Моторы		
		диаметр мм	длина бочки мм	число оборотов в минуту	мощность л. с.	число оборотов в минуту	Ток
Черновая . . .	1	370	800	10—16	200	300—600	Постоянный
	2	370	800	14—23	600	300—600	
	2	370	800	35—60	1000	300—600	
	2	370	800	85—140	1000	300—600	
Промежуточная	2	330	700	180—240	1200	300—600	,
	2	330	700	300—350	1200	300—600	
Петлевая . . .	2	300	600	500—600	2×700	300—600	,
1-я чистовая .	6	250—275	500	800—1500	1200	500—750	,
2-я чистовая .	6	250—275	500	800—1500	1200	500—750	,

Наибольшее число пропусков в стане — 19. После седьмой клетки производится обрезка концов летучими ножницами. Для уменьшения вредного натяжения прокатка в 12 и 13-й клетях идет с петлеобразованием. Петли образуются также между 13-й клетью и чистовыми линиями. До 13-й клетки прокатка производится в 4 нитки, а дальше поток металла раздваивается в соответствии с двумя чистовыми линиями, в каждой из которых, следовательно, имеется по две нитки.

Скорость прокатки в последней клетке равна 21,5 м/сек. Большая окружная скорость в непрерывных проволочных станах отражается в двух местах стана — в подшипниках и зубчатых колесах.

Применяют подшипники или скользящего трения с большой точностью обработки и с подачей в них смазки под давлением около 8 ат, образующей вокруг шейки валка тонкую пленку, или для первых 12 клетей берут подшипники из бронзы или пластмасс, для остальных — роликовые.

Для сматывания проволоки имеется 8 мотовил, по 4 у каждой чистовой линии. Уборка мотков проволоки на склад производится способом, который был уже описан выше.

### 5. Характеристика брака проволоки

Дефекты качества проволоки по наружному виду и по механическим свойствам аналогичны тем, которые имеют место при прокатке мелкосортного металла. Поэтому мы повторять их здесь не будем.

### 6. Техничко-экономические показатели прокатки проволоки

В табл. 62 приведены данные о расходе металла, топлива, электроэнергии, воды и валков при прокатке проволоки на разных станах.

Таблица 62

Статьи расхода	Стан линейного типа	Полу-непрерывный стан	Непрерывный стан
Заготовка . . . . .	1,105	1,105	1,060
Топливо, тыс. кал . . . . .	700	700	600
Энергия, квт-ч . . . . .	170	170	105
Вода, м³ . . . . .	18	14	11
Валки, кг . . . . .	0,8	0,8	0,8

Все данные относятся к тонне готового продукта за исключением расхода топлива, относимого к тонне заготовки.

## ГЛАВА 4

## ПРОКАТКА ЗАГОТОВКИ ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ И ЛЕНТЫ

## 1. Сортамент

Заготовки для сварных труб представляют собой полосовую сталь специальных размеров, употребляемую для производства сварных труб. Различают заготовку сортовую и листовую, в зависимости от того, прокатывается ли она на сортовых или листовых станах. В настоящей главе описывается производство только сортовой заготовки, идущей для производства газовых труб путем сварки их встык. Заготовка для этих труб изготавливается шириной от 30 до 305 мм, толщиной от 1,7 до 15,0 мм.

Лента по ОСТ имеет размеры: ширину от 20 до 200 мм, толщину от 1,5 до 3,5 мм. Вообще же ширина ленты достигает 600 мм. Этот размер можно считать предельным для специальных ленточных станов. Часть ленты шириной до 600 мм прокатывается также на непрерывных листовых станах.

Исходный материал. Исходным материалом для прокатки заготовки и ленты шириной до 125 мм служит квадратная заготовка сечением до  $100 \times 100$  мм, для прокатки более широких размеров — легкие слябы, которые берутся на 5—10% шире ленты, а толщина их равна 50—75 мм.

Типы станов. Заготовку для сварных труб и ленту разных размеров можно прокатывать на станах разных типов. Так, часть сортовых станов 250—300 мм прокатывает ленту, или так называемое «обручное железо», шириной от 20 до 50 мм (в некоторых случаях — до 100 мм). В большинстве же случаев для этого применяют станы двойное дуо и непрерывные. Небольшие исключения не характерны.

## 2. Стан 500 двойное дуо

Стан 500 двойное дуо, изображенный на рис. 208, предназначен для прокатки полосового металла шириной от 80 до 400 мм. Исходным материалом является квадратная заготовка 80—90 мм для полос шириной до 100 мм и слябы  $160—430 \times 90$  мм для более широких полос. Нагрев заготовок и слябов производится в двухрядной методической печи.

Стан имеет 8 клетей, расположенных в две группы — черновую, состоящую из четырех клетей дуо с валками диам. 450 мм, и чистовую, состоящую из четырех клетей двойное дуо с валками диам.

550 мм. Для привода в движение валков черновой группы служит мотор 680 л. с., чистовой группы — мотор 3000 л. с. Скорость валков чистовой линии регулируется в пределах 3,7—5,0 м/сек.

Число пропусков в большинстве случаев равно 11, из них первый и шестой являются ребровыми, остальные — плоскими. В зависимости от ширины полос в основном применяются два метода прокатки. Первый метод, используемый для прокатки полос шириной

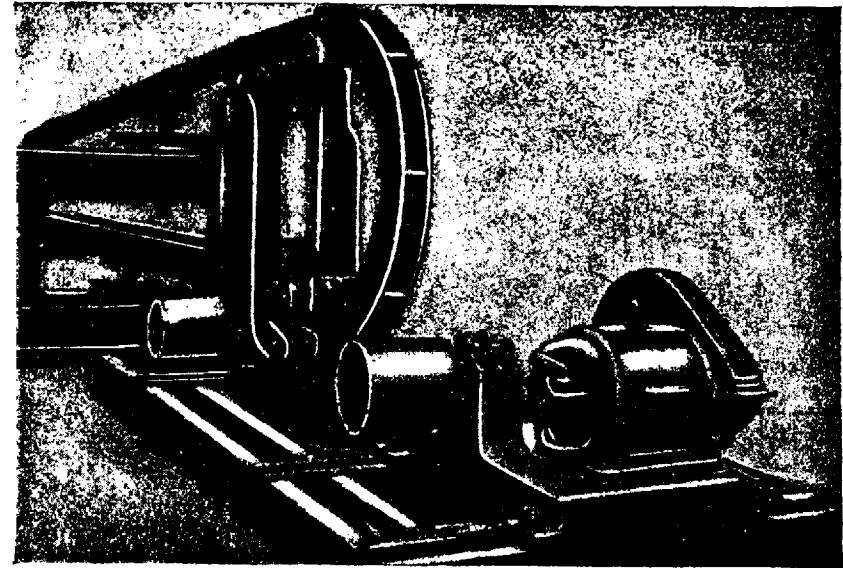


Рис. 209. Ролики обратной подачи

от 180 до 400 мм, заключается в следующем. Сляб в первой клетке пропускается на ребро для получения надлежащей ширины и для удаления окалины. По выходе из этой клетки полоса кантуется на  $90^\circ$  и последовательно проходит клетки от второй до пятой, причем пропуск в последней клетке — верхний. За пятой клетью полоса передается шлепперами к шестой, перед которой сначала кантуется на ребро, затем прокатывается в нижнем пропуске, после чего с передней стороны вновь кантуется и качающимся столом подымается для задачи в верхний пропуск этой клетки. Из шестой в седьмую клетку полоса передается шлепперами. По выходе из седьмой клетки на переднюю сторону полоса роликами обратной подачи (рис. 209) направляется во второй пропуск (верхний) этой клетки. От седьмой к восьмой клетке полоса передается шлепперами. Здесь она делает два пропуска, с выпуском всей длины полосы на переднюю сторону после десятого пропуска. Таким образом, в последнем пропуске на этом стане ручная задача полосы в валки предпочитается автоматической, так как последняя связана с ме-

нее точной установкой вводных коробок и, следовательно, с получением плоских кромок. При прокатке полос уже 180 мм для передачи их от пропуска к пропуску применяются автоматические обводки и ролики обратной задачи. По конструкции обводки весьма разнообразны, но среди них можно выделить три характерных типа.

1. На станах двойное дуо для передачи полосы из нижнего калибра в верхний применяются обводки с открывающимся клапаном (рис. 210). Эта обводка состоит из направляющего желоба *a*

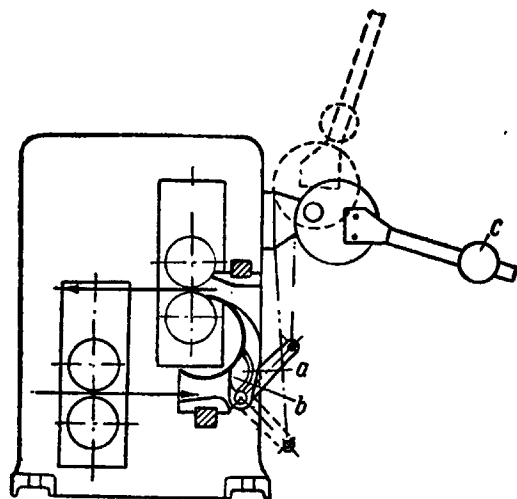


Рис. 210. Обводка с открывающимся клапаном

2. Для автоматической передачи сравнительно узких полос из клетки в клеть применяются круговые обводки, в которых полоса сначала кантуется на ребро, затем вновь ложится плашмя. Кантовка осуществляется посредством выводных проводок.

3. Для автоматической передачи из клетки в клеть более широких полос применяются обводки, в которых полоса по выходе из валков проходит по желобу постепенно, где кантуется на ребро, затем обводится вокруг вращающегося барабана, после чего вновь кантуется для задачи в следующую клеть плашмя.

Прокатанная полоса посредством семи тянущих аппаратов подается к стеллажам, на которых остывает в пачках. Далее полосы режутся на ножницах и укладываются в пачки. Для сматывания узких полос в бунты имеются две моталки с вертикальной осью.

Часовая производительность стана: при прокатке полосы  $80 \times 1,5$  мм — 9 т, при прокатке полосы  $400 \times 4$  мм — 25 т. Годовая производительность при среднем сортаменте составляет 80 тыс. т.

полукруглой формы, прикрепленного к траверсам станины, и откидного клапана *b*, вращающегося на шарнире и прижимаемого к желобу *a* грузом *c*. Полоса, выходящая из нижней пары валков, по желобу поступает в верхнюю пару валков. Образующаяся после этого петля давит на клапан *b* и заставляет его откинуться, преодолев действие груза *c*. При уменьшении длины петли давление уменьшается, и после выхода заднего конца из валков клапан *b* закрывается.

### 3. Непрерывные станы для прокатки заготовки сварных труб и ленты

На рис. 211 представлен стан для прокатки заготовки и ленты шириной от 50 до 300 мм.

Исходным материалом служат квадратные заготовки 50, 75 и 100 мм и слябы толщиной 75 и шириной от 165 до 325 мм. Длина заготовок и слябов 9 м. Нагрев их производится в печи с длиной пода 15 м.

На расстоянии около 3 м от печи находятся ножницы для горячей резки заготовок на части, если это требуется по условиям прокатки.

Стан состоит из 10 клеток с горизонтальными валками и 4 клеток с вертикальными валками. Характеристика клеток приведена в табл. 63. Между клетями, начиная от клетки В, установлены петлеобразователи в виде двух столов, открывающихся вниз действием сжатого воздуха. Открывание производится автоматически от фотореле, на которое действует свет, излучаемый полосой. Скорость прокатки в последней клетке достигает 10,5 м/сек максимум.

Резка полос на требуемые длины производится летучими ножницами барабанного типа, установленными на расстоянии 10 м от десятой клетки.

Рольганг за ножницами работает со скоростью, меньшей скорости прокатки, почему следующая полоса набегае на предыдущую. Затем полосы захватываются тянущими роликами, сбрасываются вниз на холодильник, образуя пачки высотой от 80 до 170 мм в зависимости от ширины прокатываемой полосы.

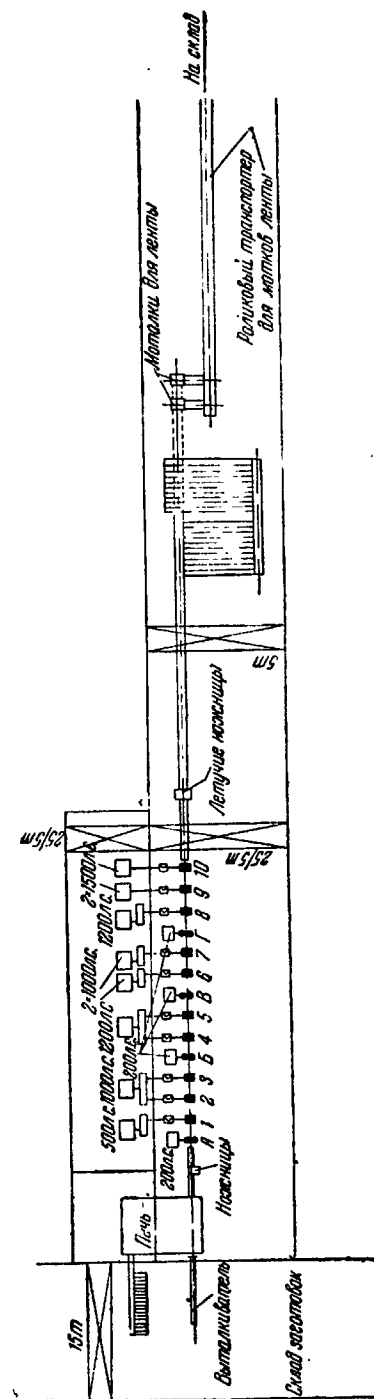


Рис. 211. Непрерывный стан для прокатки ленты и заготовки для сварных труб

Передвижение пачек по холодильнику осуществляется при помощи клинчен-шлепперов, принципиальная схема которых была описана в главе 3. Холодильник состоит из двух секций, связанных между собой рольгангом, по которому пачки передаются с одной секции на другую. Во время охлаждения пачки увязываются проволокой, затем снимаются краном для передачи на склад.

Таблица 63

№ клетей	Диаметр шесте- рен- ных валков мм	Рабочие валки			Моторы	
		диаметр мм	длина бочки мм	число оборотов в минуту	мощность л. с.	число оборотов в минуту
A	—	450	450	10—20	200	300—600
1	430	450	450	12—24	500	300—600
2	430	450	450	15—30	1000	300—600
3	430	450	450	20,5—41		
B	—	450	450	25—50	200	300—600
4	430	450	450	30,5—61	1200	300—600
5	430	450	450	35—70		
B	—	450	450	40—80	200	300—600
6	380	400	450	51—102	1000	300—600
7	380	400	450	70,5—141	1000	300—600
Г	—	400	450	95—190	200	300—600
8	380	400	450	125—250	1200	300—600
9	380	400	450	175—350	1500	500—1000
10	380	400	450	250—500	1500	500—1000

Примечание. Клетей А, Б, В и Г имеют вертикальные валки.

Для сматывания ленты в бунты установлены две моталки с горизонтальной осью вращения, к которым полоса подается по рольгангам и желобам.

Примером установки для производства широкой ленты может служить непрерывный стан, приведенный на рис. 212. На нем прокатывается лента шириной от 95 до 570 мм при минимальной толщине 0,9 мм из слэбов  $102 \div 560 \times 51-102$  мм, длиной 9,15 м. Нагреваемых в печи с длиной пода 14,3 м. Между печью и станом находятся ножницы, на которых слэбы могут быть порезаны на желаемые длины.

Стан состоит из девяти клеток с горизонтальными валками и четырех с вертикальными валками (рис. 212). Первая клетка с вертикальными валками располагается непосредственно за печью; она имеет валки diam. 406 мм, приводимые мотором постоянного тока 250 л. с.,  $n=240-800$ . Три последующие вертикальные клетки расположены за горизонтальными клетями № 2, 4 и 5. Валки их diam. 305 мм приводятся моторами 100 л. с.,  $n=250-1062$ . Из девяти горизонтальных клеток первые пять — дуо, остальные четыре — кварто. Валки всех этих клеток имеют одинаковую длину бочки — 610 мм, но разные диаметры: 1-я — 495 мм, 2-я — 470,

3-я—457, 4-я—450, 5-я—437, 6—9-я—387 (рабочие) и 813 (опорные).

Все клетки дуо приводятся общим мотором постоянного тока мощностью 4500 л. с.,  $n=150-450$ . Движение отдельным клетям передается коническими шестернями. Клетей кварто имеют привод от индивидуальных моторов постоянного тока, из них первые две от моторов 1000 л. с., остальные две — от моторов 1250 л. с. Скорость прокатки в последней клетке находится в пределах 6,3—12,6 м/сек.

Для сбивки окалины применяется вода давлением около 70 ат. По выходе из стана полоса кантующей проводкой поворачивается на 90° и в этом положении проходит через вибраторы, посредством которых располагается змейкой на двух конвейерах, ведущих к моталкам с вертикальной осью. Такое расположение полосы перед моталками необходимо потому, что скорость сматывания ниже скорости прокатки. От моталок рулоны по роликовым конвейерам направляются на склад.

Для прокатки более узкой ленты («обручного железа») часто встречаются непрерывные станы дуо с валками diam. 200—300 мм. На таких станах прокатывают ленту шириной от 11 до 100 мм при минимальной толщине 0,9 мм. В большинстве же случаев предпочитают иметь ширину после прокатки не ниже 50 мм, а более узкие размеры получают путем продольной резки на дисковых ножницах.

#### 4. Холодная прокатка ленты

Лента, полученная на станах горячей прокатки, отправляется прямо потребителю или поступает для дальнейшей обработки на станы холодной прокатки с целью:

1) получения толщины меньше той, которая может быть достигнута при горячей прокатке, 2) повышения точности по толщине ленты, 3) улучшения поверхности, 4) повышения твердости металла.

Перед холодной прокаткой лента подвергается травлению для очищения поверхности от окалины, получающейся после горячей прокатки или после отжига. Операции травления и отжига описаны ниже при рассмотрении прокатки тонких листов. Здесь же ограничимся только указанием, что при производстве ленты различают отжиг: предварительный, до холодной прокатки, если металл после горячей прокатки получился с наклепом; промежуточный, после горячей прокатки получился с наклепом; промежуточный, если требуется дать такое большое обжатие, которое нельзя выполнить «за один проход», вследствие значительного наклепа, получающегося в процессе холодной прокатки; окончательный — для получения надлежащей структуры.

Для холодной прокатки ленты применяются станы следующих типов: дуо-неревверсивные, дуо-реверсивные, кварто-неревверсивные, кварто-реверсивные, шестивалковые-неревверсивные, шести-



валковые-реверсивные и многовалковые. По расположению станы разделяются на одноклетьевые и многоклетьевые; число клетей в последнем случае равно трем-четырем.

Станы дуо-нереврсивные имеют валки диам. 125—330 мм. С передней стороны располагается барабан для надевания рулона, с задней стороны—моталка, на которую сматывается лента после выхода из стана. Прокатка ведется с натяжением. При прокатке низкоуглеродистой ленты «за один проход», т. е. без промежуточного отжига, дается обжатие до 50%, получающееся за четыре пропуска. После каждого пропуска рулон переносится с задней стороны на переднюю. Эта операция требует большого расхода времени, который значительно сокращается на реверсивных станах, позволяющих вести прокатку в любом направлении. Еще меньше времени на эту операцию расходуется на многоклетевых станах, работающих по принципу непрерывной прокатки.

Станы кварто применяются для прокатки более широкой ленты с более точными допусками, чем получаемые на станах дуо. Поэтому станы кварто крупнее станов дуо. В виде примера можно привести реверсивный стан кварто с опорными валками диам. 840 мм, рабочими — диам. 250 или 350 мм, приводимыми мотором 1250 л. с. Длина бочки валков — 740 мм. Скорость прокатки на стане достигает 6,5 м/сек.

Шестивалковые станы применяются для получения тонкой ленты. Опорные валки в этих станах имеют роликовые подшипники, рабочие валки прижаты к опорным. Шестивалковые станы по конструкции сложнее четырехвалковых. Поэтому для прокатки широких и толстых полос предпочитают станы кварто.

#### 5. Техничко-экономические показатели производства заготовки для сварных труб и ленты

Расход заготовки при прокатке трубной заготовки и ленты составляет 1,04—1,05 т на тонну готового проката, выход годного 95—96%. Такой низкий расход заготовки объясняется значительной длиной прокатываемой полосы и, следовательно, малым процентом обрезков.

Расход электроэнергии при прокатке горячей ленты зависит от степени вытяжки. По данным прокатки расход энергии главными моторами ленточного стана на тонну прокатанной ленты составляет:

Кратность вытяжки	Расход электроэнергии квт-ч	Кратность вытяжки	Расход электроэнергии квт-ч
10	32	45	135
15	55	50	150
20	65	70	190
30	100		

Средний расход энергии для главных приводов обычных непрерывных ленточных станов можно принять из расчета 20-кратной вытяжки, т. е. около 65 квт-ч на тонну. Для вспомогательных моторов расходуется 10 квт-ч на тонну. Таким образом, общий расход энергии на тонну ленты, прокатываемой на непрерывных станах, составляет 75 квт-ч.

Остальные показатели — расход топлива, воды, валков — аналогичны показателям для сортовых станов.

## ГЛАВА 5

## ПРОКАТКА КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЕЙ

## 1. Характеристика качественных сталей

Стали всех марок разделяются на две основные категории — рядовые и качественные. Точного определения каждой категории не существует, поэтому понятие о них можно дать на основе различий, имеющих в характеристике отдельных показателей. Прежде всего, необходимо указать, что качественные стали в свою очередь делятся на две основные группы — углеродистые и легированные. Эти последние как содержащие один или несколько легирующих элементов отличаются по химическому составу от рядовых сталей. Различие в химическом составе между качественными углеродистыми и рядовыми сталями имеется в отношении содержания вредных примесей — серы и фосфора. Так, рядовая сталь наиболее чистых марок — котельная, осевая, рельсовая и другие — содержит 0,04—0,05% серы и фосфора. В наиболее чистых качественных сталях количество этих элементов снижается до 0,02—0,03%, причем снижение идет по мере роста степени качества стали. В легированных сталях указанные элементы в большинстве случаев содержатся в меньших количествах, чем в углеродистых сталях тех же категорий. Сказанное иллюстрируется данными табл. 64.

Т а б л и ц а 64

Наименование стали	Максимальное содержание серы и фосфора, %	
	сера	фосфор
Сталь конструкционная углеродистая, кроме марки 08	0,055	0,040
Сталь конструкционная легированная качественная	0,050	0,040
Сталь конструкционная легированная высококачественная	0,035	0,035
Сталь инструментальная углеродистая качественная	0,040	0,040
Сталь инструментальная углеродистая высококачественная	0,030	0,030
Сталь шарикоподшипниковая (кроме марки ШХ10)	0,020	0,027

Химический состав является одним из признаков, определяющих принадлежность данной марки к той или иной категории стали — рядовой или качественной. Изменение химического состава стали оказывает влияние на свойства ее. Особенно значительно это влияние сказывается на легированных сталях, благодаря введению добавочных элементов. Эти свойства требуют методов обработки, отличающихся от тех, которые применяются в производстве рядовых сталей.

**Классификация качественных сталей.** По принятой в СССР номенклатуре все качественные стали делятся на три основные группы: 1) конструкционные, 2) инструментальные и 3) особые. Каждая из первых двух групп подразделяется еще на углеродистые и легированные, а эти последние, в свою очередь, на качественные и высококачественные, в зависимости от содержания в них серы и фосфора. В группу особых сталей входят такие, например, как нержавеющие, жароупорные, кислотоупорные, а также стали с особыми физическими свойствами.

Для получения легированных сталей применяется много элементов (около 30), но наибольшее распространение имеют хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий. Реже встречаются стали с кобальтом, алюминием, медью и титаном. Широко пользуются для легирования также марганцем и кремнием, вводя их в количествах, превышающих те, которые обычно встречаются в рядовых сталях. В так называемых автоматных сталях в качестве легирующих элементов применяются также сера и фосфор.

По степени легирования стали разделяются на низко-, средне- и высоколегированные. Точной границы для такого деления нет, поэтому деление может быть лишь приблизительным. Наибольшее распространение низколегированные стали получили во время второй мировой войны. Легирующими элементами в них чаще всего являются марганец, кремний, медь и хром, реже никель.

По ОСТ качественные стали обозначаются так:

1) содержание углерода цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента; если, например, сталь обозначена цифрой 25, это значит, что содержание углерода в ней находится в пределах 0,20—0,30%, или в среднем 0,25%;

2) марганец обозначается буквой Г; если содержание его превышает один процент, то рядом с буквой Г ставится цифра 2, например сталь 50Г2 содержит углерода 0,45—0,55% и марганца 1,40—1,80%;

3) кремний обозначается буквой С; как и для марганца сбоку ставится цифра 2, если содержание кремния превышает 1%; например, сталь 60С2 содержит 0,55—0,65% углерода и 1,50—2,00% кремния;

4) остальные легирующие элементы обозначаются буквами: хром — Х, никель — Н, молибден — М, вольфрам — В, ванадий — Ф, алюминий — Ю;

Таблица 65

Марки сталей	Содержание элементов, %						
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	прочие легирующие	сера не более
Углеродистая конструкционная							
О5	0,05—0,12	0,25—0,50	≤ 0,030	≤ 0,25	≤ 0,30	—	0,055
45	0,40—0,50	0,45—0,70	0,10—0,30	0,30	0,030	—	0,055
Легированная конструкционная качественная							
15Х	0,10—0,20	0,30—0,60	0,15—0,30	0,70—1,00	≤ 0,30	—	0,050
45Х	0,40—0,50	0,45—0,70	0,15—0,30	0,80—1,10	≤ 0,30	—	0,050
15ХФ	0,12—0,20	0,30—0,60	0,15—0,30	0,80—1,10	≤ 0,30	Ванадий 0,10—0,20	0,040
15НМ	0,10—0,20	0,40—0,70	0,15—0,30	≤ 0,30	1,50—2,00	Молибден 0,20—0,30	0,040
40ХН	0,35—0,45	0,45—0,70	0,15—0,30	0,45—0,75	1,00—1,50	—	0,050
12Х2Н4	≤ 0,17	0,30—0,60	0,15—0,30	1,25—1,75	3,25—3,75	—	0,040
Легированная конструкционная высококачественная							
15ХА	0,12—0,20	0,30—0,60	0,15—0,30	0,70—1,00	≤ 0,30	—	0,040
30ХМА	0,25—0,35	0,40—0,70	0,15—0,30	0,80—1,10	≤ 0,30	Молибден 0,15—0,25	0,035
25ХНВА	0,20—0,30	0,25—0,55	0,17—0,37	1,30—1,70	4,00—4,50	Вольфрам 0,10—1,20	0,040
38ХНЮА	0,35—0,42	0,30—0,60	0,17—0,37	1,35—1,65	≤ 0,40	Алюминий 0,0—1,00	0,035
Шарикоподшипниковая							
ШХ6	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	0,45—0,75	≤ 0,30	—	0,027
ШХ15	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	≤ 0,30	—	0,020
							0,027

Таблица 66

Марка стали	Содержание элементов, %						
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	прочие легирующие	фосфор
Инструментальная углеродистая							
У7	0,60—0,74	≤ 0,40	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,25	—	0,040
У13А	1,26—1,40	0,25—0,35	≤ 0,39	≤ 0,20	≤ 0,25	—	0,030
Инструментальная легированная							
Быстрорежущая РФ1	0,70—0,80	≤ 0,40	≤ 0,40	3,8—4,6	≤ 0,40	Вольфрам 17,5—19,0 Ванадий 1,0—1,4	0,045
Особые марки							
Нержавеющие	0,35—0,45	≤ 0,70	≤ 0,70	12,0—14,0	≤ 0,60	—	0,030
Хромистая Ж4	Не более 0,14	≤ 0,70	≤ 1,20	16,0—20,0	8,0—11,0	Титан ≤ 0,8	0,030
Хромоникелевая Я1Г	Не более 0,25	0,70—1,50	0,50—1,20	14,0—18,0	55,0—61,0	—	0,030
Нихром ЭХН60	≤ 0,15	0,4—0,8	≤ 0,45	25,0—30,0	≤ 0,60	—	0,030
Фуродит							0,030

5) для обозначения высококачественных марок стали ставится буква А. например, марка 38ХМЮА содержит углерод в количестве 0,35—0,42%, хром, молибден и алюминий; буква «А» указывает, что это — высококачественная сталь, содержащая мало серы (0,035% максимум) и фосфора (0,035% максимум);

6) в некоторых случаях применяются и другие обозначения; например, углеродистые инструментальные стали обозначаются буквой У; шарикоподшипниковые буквами ШХ и т. д.;

7) цифрами обозначается также приблизительное содержание в процентах некоторых элементов, если цифры стоят непосредственно за этими последними; например, обозначение 12Х2Н4 указывает на то, что в стали содержится хрома около 2% и никеля около 4%.

В табл. 65 и 66 приведен химический состав качественных сталей некоторых марок.

## 2. Особенности технологического процесса при обработке качественных сталей в связи с их свойствами

**Слитки.** Большая часть слитков углеродистых качественных сталей по своему строению мало отличается от слитков рядовой стали. Многие же марки легированных качественных сталей склонны к образованию транскристаллической структуры в слитках, с сильно вытянутыми крупными кристаллами. При прокатке таких слитков могут образоваться рванины и трещины, приводящие к получению брака. Поэтому слитки с транскристаллической структурой следует нагревать медленно и прокатывать с малыми обжатиями и низкими скоростями деформации. В отдельных случаях целесообразно такие слитки предварительно проковать под молотом, после чего передавать в прокатку.

Слитки качественной стали чаще всего бывают квадратные или круглые, реже встречаются слитки других форм. Круглые слитки имеют широкое распространение, причем изложницы для них применяются часто с гофрированной поверхностью с целью предупреждения образования наружных трещин при охлаждении и при нагреве.

Вес слитков для качественных сталей колеблется в значительных пределах и зависит от марки выплавляемой стали. Наименьший вес имеют слитки таких сталей, как быстрорежущая, нихром, фехраль, хромаль и др., отличающихся значительной склонностью к образованию транскристаллической структуры. Слитки этих сталей имеют вес от 200 до 1000 кг. Слитки качественных сталей других марок отливаются весом от 1000 до 5000 кг (конструкционная хромоникелевая, шарикоподшипниковая, некоторые марки нержавеющей стали и др.). В особых случаях, главным образом, при прокатке листов, слитки легированных сталей отливаются и большего веса. Например, слитки хромоникелевой стали для прокатки судовой брони имеют вес до 250 т. В табл. 67 приведе-

ны данные о размерах и весе слитков квадратного сечения, применяемых на некоторых заводах для прокатки качественных сталей.

Таблица 67

Наименование заводов	Размеры и вес слитков							Марки стали
	нижнее сечение	верхнее сечение	высота до прибыли, мм	высота прибыли, мм	общая высота, мм	полный вес слитка, кг	в том числе посылной части	
	мм×мм	мм×мм	мм	мм	мм	кг	мм	
А	345×345	350×350	1050	330	1380	1200	205	Конструкционная легированная
	540×540	660×660	1680	500	2180	5000	885	Углеродистая и легированная
Б	500×500	590×590	1500	440	1940	3700	605	Преимущественно легированная
	420×420	520×520	1250	420	1670	2400	375	Кислая шарикоподшипниковая
	480×480	590×590	1570	350	1920	3600	470	Мартеновская легированная
В	450×450	530×530	1225	350	1575	2300	425	Электросталь легированная
	310×310	370×370	1100	300	1400	1000	155	Электросталь высоколегированная
	470×470	570×570	1550	350	1900	3400	465	Мартеновская основная легированная
Г	440×440	560×560	1400	350	1750	2860	495	Мартеновская кислая легированная

**Подготовка слитков к прокатке.** Слитки качественных сталей перед прокаткой нагреваются в коудцах и в печах. В первом случае слитки садят, как правило, в горячем состоянии, во втором случае слитки после отливки охлаждают и, следовательно, садят в печи холодными. При охлаждении в слитках, во-первых, появляются внутренние напряжения, во-вторых, поверхность многих из них получается очень твердой, затрудняющей обработку, которая необходима перед прокаткой для удаления наружных дефектов. Кроме того, стали некоторых марок обладают способностью поглощать в большом количестве водород в процессе выплавки, вследствие чего металл после обработки получается с флокенами.

Для устранения указанных недостатков литой структуры слитки некоторых марок стали отжигают до того, как они поступают в обработку. К таким маркам относятся быстрорежущая, инструментальные, высоколегированные хромоникелевые, шарикоподшипниковые и др. Отжиг этих сталей преследует такие цели:

1) устранение грубой неоднородной структуры, которая при обработке вызывает образование трещин;

2) удаление водорода для предупреждения образования флокенов;

3) понижение твердости на поверхности слитка для возможности производить в дальнейшем удаление наружных дефектов;

4) снятие внутренних напряжений в слитке, которые при нагреве и прокатке могут привести к образованию рванин внутри и снаружи слитка.

В первых двух случаях слитки подвергаются гомогенизации и — отжигу при температуре до  $1200-1250^{\circ}$ , в остальных двух случаях температура отжига держится в пределах  $850-900^{\circ}$ . Нередко вместо последнего отжига применяют замедленное охлаждение слитков после разливки и освобождения их из изложниц.

Слитки качественных сталей, сажаемые в нагревательные печи в холодном состоянии, проходят предварительный осмотр и зачистку для удаления поверхностных дефектов — плен, трещин, волосин и др. Методы зачистки применяются следующие: 1) вырубка пневматическими зубилами, 2) шлифовка и 3) сплошная обдирка на токарных станках.

Вырубка пневматическими зубилами и шлифовка как самостоятельные методы в настоящее время применяются в ограниченном масштабе. В большинстве случаев этими способами пользуются как добавочными при станочном методе для зачистки отдельных небольших дефектов.

Слитки высококачественных легированных сталей подвергаются сплошной обдирке на токарных станках специальной конструкции, приспособленных для обточки поверхностей слитков круглой и квадратной формы.

Нагрев слитков. Качественные стали высокоуглеродистых и легированных марок имеют пониженную теплопроводность, что проявляется тем сильнее, чем выше содержание в стали углерода и легирующих элементов. Из этих последних никель и марганец в наибольшей степени способствуют уменьшению теплопроводности. Это свойство качественных сталей имеет значение в первом периоде нагрева слитков холодного посада, когда сталь способна поглощать наибольшее количество тепла. Приходится в первом периоде вести нагрев осторожно, чтобы не получилось резкого теплового расширения наружных частей слитка, когда внутренние его слои еще мало прогреты. Таким образом, чтобы обеспечить правильный нагрев холодных слитков качественных сталей в первом периоде, приходится выбирать скорости нагрева меньше тех, которые применяются для рядовых сталей. При нарушении этих условий неизбежно образуются трещины, чему способствуют и внутренние напряжения в слитке. С пониженными скоростями слитки нагреваются до температуры примерно  $800^{\circ}$ , после чего нагрев можно вести с более высокими скоростями. Совершенно понятно, что при горячем посаде слитков в коядцы их можно нагревать быстрее, чем при холодном посаде.

Для получения пониженных скоростей нагрева слитков при холодном посаде приходится давать уменьшенное количество тепла в первом периоде, что достигается различными способами. Если слитки нагреваются в коядцах, то их сажают в камеры, температура в которых предварительно снижается до  $500-600^{\circ}$ , а затем подъем ее идет весьма медленно. При нагреве слитков в методических печах температуру в конце искусственно снижают путем промежуточного отбора части газов. В некоторых случаях применяют комбинированный метод нагрева — сначала в методической печи до  $800^{\circ}$ , затем в коядцах до температуры прокатки. При небольших масштабах производства можно рекомендовать такой комбинированный нагрев: до  $800^{\circ}$  в методической печи, затем в камерных печах до температуры прокатки.

Все сказанное до сих пор относилось к нагреву слитков. Что касается заготовки, то ее можно нагревать с более высокими скоростями, так как после обжария слитков структура получается однороднее, теплопроводность стали повышается. Следует, однако, заметить, что и здесь, как и при нагреве слитков, скорости нагрева должны быть дифференцированы для первого и второго периодов нагрева.

Время, необходимое для нагрева слитков и заготовок сталей отдельных марок, приведено ниже — при описании их прокатки. Здесь же ограничимся лишь указанием, что для нагрева металла качественной стали значительной части марок требуется больше времени, чем при нагреве металла рядового качества. В соответствии с этим в процессе нагрева качественных сталей имеет место обезуглероживание поверхностного слоя на глубину, зависящую от многих факторов, например, от продолжительности нагрева, вида легирующих элементов и др. Эти факторы оказывают влияние и на величину угара (окалинообразование), которая, вообще говоря, выше, чем у рядовой стали, вследствие большей длительности нагрева.

Таким образом, отдельные требования в отношении качества нагрева находятся здесь в некотором взаимном противоречии. Для достижения хорошего равномерного прогрева необходимо выдерживать слиток в печи в течение достаточно продолжительного времени. Но для уменьшения окалинообразования и обезуглероживания желательнее сокращать время пребывания слитка в печи. Поэтому приходится подбирать такие условия, при которых получаются оптимальные результаты по всем показателям, что вырабатывается практически применительно к разным маркам сталей.

Прокатка слитков в заготовку. При прокатке слитков качественных сталей приходится учитывать пониженную пластичность их. Поэтому обжария в начальной стадии прокатки нужно выбирать с большой осторожностью. Равным образом, скорость деформации также не должна быть значительной. Поэтому слитки сталей с сильно пониженными пластическими свойствами

(быстрорежущей, нержавеющей, нихрома и др.) предпочитают ковать под молотом для получения заготовки. Пластические свойства стали уменьшаются с понижением температуры, поэтому совершенно понятно требование соблюдать при обработке стали оптимальный температурный перепад, который практически находится в пределах 150—300°. Чтобы получить определенную структуру металла, необходимо не допускать понижения температуры конца прокатки ниже известного минимума. Иногда приходится заканчивать прокатку при той или иной температуре для предупреждения дальнейшего значительного понижения пластических свойств и связанного с ним образования рванин и трещин. Например, прокатку быстрорежущей стали по указанной причине приходится прекращать при температуре 950—1000°, и слиток снова сажать в печь для подогрева. В некоторых случаях прокатки операция подогрева производится несколько раз. Так, на одном заводе слиток стали с содержанием хрома 27% в процессе прокатки на слябинге подогревается 5—6 раз. В соответствии с такими температурными условиями обработки вытекает необходимость иметь возможно высокую начальную температуру прокатки, допускаемую свойствами стали той или иной марки. Сюда относятся такие стали, как быстрорежущая (температура нагрева 1220°), хромоникелевые нержавеющие (температура нагрева 1200—1270°) и др. Стали всех этих марок имеют ограниченный нижний предел температуры обработки (950—1000°).

Для прокатки слитков качественных сталей в заготовку применяются реверсивные блуминги дуо и обжимные станы трио. На большинстве заводов СССР слитки качественных сталей обжимаются на реверсивных блумингах, реже на обжимных станах трио. В обжимных цехах с реверсивными блумингами полупродукт качественной стали производится в большинстве случаев по той же схеме, которая применяется при производстве рядовой стали, т. е. слитки отливаются в изложницы на тележках, в горячем состоянии сажаются в нагревательные колодцы и прокатываются на реверсивных блумингах. Таким образом, слитки в этой схеме не проходят предварительной подготовки перед прокаткой, и главная работа по зачистке сосредоточивается на складе заготовок. В цехах с обжимными станами трио слитки в холодном состоянии подаются в прокатный цех, где проходят подготовку — отжиг, обдирку, затем сажаются в методические печи и прокатываются в заготовку на станах трио. При такой схеме слитки имеют вес не более 800—1200 кг.

Сравнивая станы обоих типов в отношении пригодности для обработки слитков качественных сталей, следует указать, что реверсивный блуминг имеет преимущество большей гибкости в выборе величины обжатия и скорости деформации, что очень важно, вследствие больших колебаний в свойствах качественных сталей разных марок. В станах трио обжатия строго фиксированы и берутся одинаковыми для сталей всех марок. Следует, однако, от-

метить, что слитки некоторых высоколегированных сталей прокатываются только на станах трио, так как при малых размерах и весе таких слитков применение реверсивных блумингов даже с валками небольших диаметров не оправдывается. В клетях трио можно иметь небольшое число пропусков из-за ограниченной длины бочки валков, поэтому обжатия получаются в них несколько большими по сравнению с реверсивными станами дуо. Обжимные станы трио имеют некоторое преимущество в том отношении, что обжатия здесь не могут меняться произвольно, — это дело находится в ведении калибровщика. На блумингах дуо регулирование обжатия находится в руках оператора, который может иногда допустить произвольное изменение. Но это уже вопрос организационный. Во всяком случае изменение величины обжатия в некоторых пределах бывает необходимо, и лишать производителей такой возможности нельзя.

Калибровка обжимных валков реверсивных станов и станов трио выполняется в виде ряда ящичных калибров, в редких случаях все калибры делаются ромбическими или стрелчатыми.

Прокатка блумов в заготовку в большинстве случаев производится на станах трио, которые устанавливаются в виде самостоятельной единицы (при реверсивных блумингах) или в виде дополнительных клетей в обжимной линии трио. Калибровка валков для прокатки заготовки выполняется в виде ряда ромбических калибров со сторонами, уменьшающимися на 10% от предыдущих к последующим.

Охлаждение заготовок качественных сталей многих марок должно производиться замедленно. Эта операция вызывается тремя причинами: образованием в стали внутренних напряжений при охлаждении, наличием в стали флокенов и свойством некоторых легированных сталей самозакаливаться при охлаждении на воздухе. Это свойство находится в связи со способностью легирующих элементов задерживать распад аустенита и образовывать новые структуры при нормальном охлаждении. Способность разных марок к самозакаливанию увеличивается с возрастанием количества легирующих элементов в стали. В соответствии с этим применяются различные методы охлаждения, в зависимости от допускаемой скорости охлаждения. Можно указать следующие практические методы замедленного охлаждения заготовок качественных сталей: 1) в штабелях на воздухе, 2) в неотопляемых колодцах, 3) в отопляемых колодцах и печах, 4) в штабелях с засыпкой малотеплопроводным материалом (песок, зола, гравий, инфузорная земля и др.).

Наиболее простой метод — замедленное охлаждение заготовки в штабелях на воздухе, так как для этого не требуется каких-либо специальных устройств. Но этот метод нельзя применять к тем сталям, для которых скорость охлаждения при таком способе слишком высока. Для охлаждения подобных сталей чаще всего применяются колодцы без отопления, а для сталей, наиболее

чувствительных к самозакаливанию, колодцы должны отапливаться. Отопление при таких сталях важно еще и для предварительного, до загрузки металла, нагрева колодца. Колодцы для замедленного охлаждения обычно строят попарно. Внутри их выкладывают шамотным кирпичом и облицовывают чугунными плитами, если работают без отопления. Сверху колодцы закрываются крышками. В качестве топлива для колодцев с обогревом применяют газ или мазут.

На заводах, где нет специальных колодцев, применяют более простой метод замедленного охлаждения — в штабелях с засыпкой материалом пониженной теплопроводности. Штабель заготовки сбоку ограждают листами, образуя пространство, заполняемое теплоизоляционным материалом. Последний засыпают также сверху штабеля. В таких условиях металл охлаждается очень медленно, обычно в течение нескольких суток.

**Зачистка заготовки.** Заготовка качественных сталей зачищается теми же методами, что и заготовка рядовых сталей, с той разницей, что в этом случае значительное применение имеют шлифовальные станки для устранения наиболее мелких дефектов высоколегированных сталей, обладающих значительной твердостью на поверхности (быстрорежущие, нержавеющие и др.).

**Огневая зачистка** применяется в ограниченном масштабе и преимущественно для заготовок еще горячих, сразу по выходе из обжимных и заготовочных станов. В холодном состоянии огнем методом зачищаются малоуглеродистые и низколегированные стали, причем для предупреждения образования трещин места зачистки должны быть предварительно хорошо прогреты.

**Прокатка готового сорта.** Качественные стали выпускаются в большинстве случаев в виде простых профилей — круга, квадрата и полосы. Только стали углеродистые и низколегированные прокатываются в фасонные профили. Поэтому калибровка валков для получения собственно формы прокатного изделия не представляет трудностей. Однако вопросы качества значительно усложняют задачу и калибровщика, и прокатчика. С этой стороны к калибровке качественных сталей вообще и легированных в особенности предъявляются следующие требования: 1) калибровка должна обеспечить получение жестких допусков, 2) калибры должны быть подобраны такой формы, которая способствовала бы удалению окалины, 3) должна быть предусмотрена возможность прокатки в одних валках профилей одинакового размера, но разных марок стали.

Первое требование выполняется надлежащим построением калибров и подбором заготовок такого веса, при котором получается длина, обеспечивающая необходимые температурные условия. Почти как правило, качественная сталь прокатывается в более коротких длинах, чем обычная, рядовая.

Для борьбы с окалиной при прокатке круглой стали применяют специальные ребровые калибры, которые предшествуют чисто-

вым овальным (рис. 213). Порядок размещения калибров в этом случае такой: 1 — последний чистовой квадрат, 2 — плоский на гладкой бочке, в котором бока делаются выпуклыми, 3 — ребровой, 4 — овал и 5 — круг. При такой калибровке окалина хорошо удаляется при пропуске полосы через ребровой калибр.

Третье требование вызывается тем обстоятельством, что деформация стали разных марок в одних и тех же калибрах протекает различно, вследствие чего получается неодинаковое ушире-

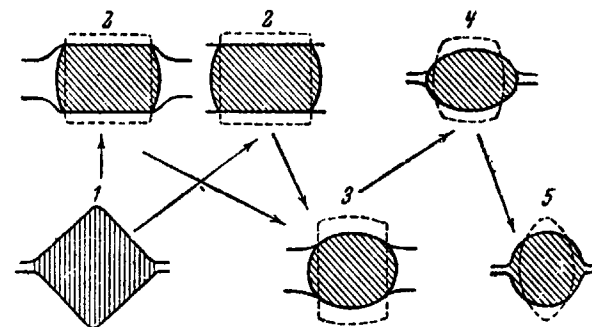


Рис. 213. Схема калибровки круглой стали с применением ребрового калибра

ние. При прокатке стали одних марок можно достигнуть разницы в размерах соответствующей настройкой стана путем регулирования зазоров между валками. Во многих же случаях для получения одних и тех же размеров приходится применять разные калибры.

Система калибровки оказывает влияние на качество наружной поверхности металла. Наиболее подходящей для качественных сталей является такая система, в которой форма калибров не имеет резких переходов. Этому условию удовлетворяет система калибровки круг — овал, в которой очертание формы меняется плавно, вследствие чего калибровка овал — квадрат менее пригодна для прокатки качественных сталей, так как при переходе из овала в квадрат и из квадрата опять в овал поперечное сечение полосы резко меняется в отдельных частях. Это связано, во-первых, с неравномерностью деформации и возникновением внутренних напряжений, во-вторых, с образованием морщин и складок.

Станы для прокатки готового продукта качественных сталей применяются разных типов, чаще всего линейного. Это всегда имеет место на заводах, где сохранились старые подобного рода установки, которые используются для производства металла большой трудоемкости, и в малых количествах по отдельным заказам. Почти все новые установки для прокатки качественных сталей



представляют собой станы современных типов — последовательные, шахматные и полунепрерывные. Совершенно понятно, что выбор типа стана, как и в случае прокатки рядовой стали, зависит от масштаба производства. Однако некоторые высоколегированные стали, например, быстрорежущую, нихром, некоторые нержавеющие и другие, целесообразно прокатывать только на станах линейного типа. Такие стали обладают пониженной пластичностью, вследствие чего температурный интервал горячей обработки их ограничен. Поэтому их прокатывают из коротких заготовок малого веса. Эти условия были бы неэффективны для современных высокомеханизированных станов.

Те стали, которые обладают склонностью к самозакаливанию и образованию флокенов, после прокатки готового сорта подвергаются замедленному охлаждению в штабелях и ямах или изотермическому отжигу в печах. Соблюдение правильного режима охлаждения часто затрудняется тем обстоятельством, что мелкие профили готового проката имеют небольшой запас тепла и быстро его теряют. Поэтому все операции после выхода полосы из стана производятся с возможно большей скоростью. Механические холодильники на станах, прокатывающих качественные стали, имеют приспособления для складывания полос в небольшие пачки, которые затем перемещаются по зубцам, что дает возможность замедлить процесс охлаждения.

После прокатки металл подвергается отделке, включающей ряд операций, число которых зависит от марки стали. Высококачественные стали проходят полный цикл отделочных операций: отжиг для получения требуемой структуры металла; травление для удаления окалины, получившейся в процессе отжига; правку на роликовых правильных машинах (мелких и средних размеров) или штемпельных прессах (крупных сортов); осмотр и зачистку преимущественно на шлифовальных станках.

### 3. Прокатка качественной стали различных марок

Все изложенное до сих пор касалось общих методов прокатки качественных сталей. Эти методы применяются в различном виде и в разных сочетаниях к стали отдельных марок, в зависимости от их химического состава и обусловленных этим физических свойств. Ниже рассматриваются примеры прокатки некоторых наиболее характерных марок качественной стали.

**Шарикоподшипниковая сталь.** В табл. 65 приведен химический состав шарикоподшипниковой стали двух марок с наименьшим (0,45—0,75%) и наибольшим содержанием хрома (1,30—1,65%), при значительном содержании углерода (0,95—1,10%). Свойства шарикоподшипниковой стали выражаются в стремлении: 1) к обезуглероживанию поверхностного слоя при нагреве, 2) к выделению карбидов хрома в виде отдельных местных скоплений, которые после прокатки образуют строчечную структуру или цементитную сетку, в зависимости от температур-

ного режима обработки стали. В соответствии с этими свойствами особенности технологии шарикоподшипниковой стали представляются в следующем виде.

Сталь отливается в слитки весом до 3—3,5 т, которые при температуре 600—900° сажаются в нагревательные колодцы или в холодном состоянии сначала подвергаются отжигу и сплошной обдирке на станках, затем нагреваются в печах или колодцах. В последнем случае нагрев производится по режиму, установленному для слитков легированных сталей: посадка слитков в камеры, остуженные до 500—600°, и медленный нагрев их до 800°, затем — быстрый до температуры 1150—1200°, при которой слиток выдерживается в продолжение около 1,5—2 час. Общее время нагрева составляет 12—14 час., следовательно, скорость нагрева равна 35—40 мм в час.

Заготовку надо нагревать с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимую температуру конца прокатки — около 850°. Понижение этой температуры приводит к образованию строчечной структуры. Чтобы предупредить образование такой структуры, желательно нагревать заготовку до температуры, по возможности, более высокой. Однако при этом прокатка может закончиться при температуре выше 850° с образованием цементитной сетки при одновременном значительном обезуглероживании поверхностного слоя. Получается некоторое противоречие между этими двумя требованиями. Практически температуру нагрева заготовки держат в пределах 1050—1100°, причем для уменьшения обезуглероживания нагрев ее ведут с большой скоростью — до 50—60 мм в час. Если в некоторых случаях температура в конце прокатки может получаться выше 850°, прибегают к искусственной задержке полосы перед последними двумя-тремя пропусками.

Заготовку и готовый сорт после прокатки медленно охлаждают в неоттапливаемых колодцах, чтобы избежать образования флокенов.

**Хромоникелевые конструкционные стали** делятся на две группы — низколегированные и высоколегированные. В первой группе никель содержится до 2%, во второй — до 4,6%. Содержание хрома в низколегированных сталях не превышает 0,90%, в высоколегированных — достигает 1,75%. Кроме того, в некоторые хромоникелевые стали добавляется молибден (0,25—0,45%) или вольфрам (0,8—1,20%).

Слитки хромоникелевой стали характеризуются склонностью к транскристаллизации и образованию флокенов. Поэтому перед прокаткой их подвергают гомогенизации, т. е. отжигу при высокой температуре (1200—1250°), благодаря чему достигается большая однородность их структуры и понижается флокенообразование.

Вес слитков для прокатки сортовой хромоникелевой стали на разных заводах колеблется в широких пределах и для большинства марок зависит от типа обжимных агрегатов. Для реверсивных блумингов дуо вес слитка достигает 4,5 т. Холодные слитки



низколегированных сталей зачищаются пневматическими зубилами, слитки высоколегированных сталей подвергаются сплошной обдирке.

Температура нагрева слитков хромоникелевой стали находится в пределах 1200—1250°, скорость нагрева от 40 до 50 мм в час, в зависимости от марки стали.

Обжатия для слитков хромоникелевой стали в первых пропусках должны быть невысокие, пока не будет раздроблена первичная структура. После этого прокатку можно вести более форсированно, так как хромоникелевая сталь отличается высокой пластичностью. Охлаждение заготовки и сорта низколегированных хромоникелевых сталей можно производить в штабелях на воздухе, высоколегированных — в неотопливаемых колодцах.

Нержавеющая сталь. По химическому составу все нержавеющие стали можно разделить на две основные группы — хромистые стали и хромоникелевые стали.

Хромистые стали по нашему сортаменту содержат от 12 до 15% хрома и от 0,13 до 0,50 углерода (марки Ж1, Ж2, Ж3 и Ж4).

В зависимости от структуры, получаемой в процессе нормального охлаждения, они делятся на два основных класса — мартенситовые и ферритовые стали. Первые обладают повышенным сопротивлением деформации и заметной чувствительностью к изменению температуры. При охлаждении в слитках такой стали возникают значительные напряжения. В соответствии с этим слитки мартенситовых нержавеющих сталей целесообразно предварительно отжигать. Нагревать слитки необходимо с соблюдением следующих условий: 1) температура в конце печи должна быть не выше 500—550°, 2) нагрев до 800° должен быть медленный, 3) температура нагрева может находиться в пределах 1100—1150°, 4) скорость нагрева — 35—40 мм в час. Заготовка и готовый сорт охлаждаются на воздухе.

Ферритовые нержавеющие стали можно нагревать и охлаждать без особых предосторожностей. Отличительная их особенность — большая скорость рекристаллизации, которая наступает при низкой температуре. Отсюда — необходимость при обработке сталей этого типа вести борьбу с образованием крупного зерна. Последнее может получиться в процессе нагрева в течение длительного времени при высоких температурах и при прокатке в последнем пропуске с малым обжатием при высокой температуре. Для уменьшения величины зерна последний пропуск производится с обжатием не ниже 15% при температуре не выше 800° Ферритовую сталь можно охлаждать на воздухе.

Хромоникелевая сталь наиболее распространенной марки содержит 8% никеля и 18% хрома. Наша марка Я1 содержит не более 0,14% углерода, 8,0—11,5% никеля и 17—20% хрома. Это сталь аустенитового типа. Основные особенности ее:

1) пониженная теплопроводность, 2) низкая скорость рекристаллизации, 3) узкий диапазон температур горячей обработки.

Вследствие низкой теплопроводности слитки этой стали нагреваются с малыми скоростями — 30—35 мм/час в среднем. Температура нагрева 1200—1220° для слитков и 1150—1180° — для заготовки. Слитки применяются различного веса, в зависимости от типа обжимной установки и вида изделия. Известны заводы, которые прокатывают листовые слитки весом до 10 т. С другой стороны, нередки случаи, когда предпочитают слитки малого веса, которые куют под молотом до прокатки.

Вследствие повышения сопротивления деформации и образования по этой причине рванин, стремятся заканчивать прокатку заготовки при температуре, близкой к 1000°, и готового сорта, при температуре около 900—950°. В соответствии с этим большое значение имеет длина прокатываемых полос готового сорта — чем она ниже, тем лучше гарантируется надлежащая температура конца прокатки.

Заготовка и сорт охлаждаются на воздухе, зачищаются на шлифовальных станках.

Жароупорная сталь с содержанием никеля 23—27%, хрома 16—20%, углерода 0,3—0,4% (марка ЯЗС) имеет более высокое сопротивление деформации и более узкий диапазон температур горячей обработки, чем сталь Я1. Поэтому средняя скорость нагрева слитков этой стали еще ниже, чем сталей предыдущих марок; она составляет всего 20—25 мм/час. Слитки этой стали обрабатываются преимущественно ковкой.

Быстрорежущая сталь. Имеются быстрорежущие стали нескольких марок, отличающихся одна от другой количеством отдельных элементов, входящих в их состав. Количество главных элементов, содержащихся в быстрорежущей стали, по нашей классификации таково: углерода 0,6—0,8%, вольфрама 11,8—19%, ванадия 0,2—2,6%, хрома 3,6—4,6%.

Кроме того, стали некоторых марок содержат еще кобальт и молибден.

Эта сталь обладает ценным свойством — стойкостью при отпуске до температуры 550—600°, благодаря чему резцы, изготовленные из нее, сохраняют режущую способность при нагреве до указанной температуры.

Быстрорежущая сталь относится к ледебуритному классу, обладает повышенным сопротивлением деформации, узким температурным диапазоном горячей обработки, пониженной теплопроводностью, склонностью к обезуглероживанию поверхностного слоя и самозакаливанию на воздухе. Указанные свойства определяют технологический процесс обработки этой стали.

Слитки быстрорежущей стали в большинстве случаев имеют вес от 200 до 1000 кг, хотя известны случаи применения слитков более тяжелого веса (1,5—2 т). Форма слитков преимущественно круглая. Слитки перед прокаткой надо обязательно отжечь и по-

верхность их зачистить. Имеется много вариантов этих операций, но типовой можно считать следующую практику. После отливки слитки медленно охлаждают, затем отжигают при температуре 850—920°. Нагрев и охлаждение следует вести с небольшими скоростями. Общая продолжительность отжига — до четырех суток. После отжига слитки подвергаются сплошной обдирке на станках; остающиеся после этого небольшие местные дефекты удаляются шлифовкой.

Слитки быстрорежущей стали медленно нагревают до 800°, затем с большей скоростью — до температуры обработки, которая лежит в пределах 1150—1220°. Средняя скорость нагрева слитков от 20 до 25 мм/час, заготовки — от 25 до 30 мм/час. Слишком длительный нагрев связан с обезуглероживанием поверхностного слоя и значительным окиснообразованием. Для обработки быстрорежущей стали применяют три метода: 1) слитки куют в заготовку и заготовку куют в готовый сорт, 2) слитки куют в заготовку и заготовку прокатывают в готовый сорт, 3) слитки прокатывают в заготовку и заготовку прокатывают в готовый сорт.

Наиболее оптимальным считается второй метод; третий метод пока не получил большого распространения.

Быстрорежущая сталь обладает повышенным сопротивлением деформации и ограниченным температурным интервалом горячей обработки, поэтому последнюю обычно производят в несколько нагревов. Число нагревов при ковке слитка на заготовку 3—4, при прокатке заготовки в готовый сорт — 2, реже 1. Число нагревов зависит от соотношений между размерами слитков и заготовок, а при прокатке еще и от длины прокатываемых полос. При ковке слитков за один нагрев площадь сечения уменьшается на 40—50%. Чтобы избежать образования наружных рваных и трещин, обжатия при ковке и прокатке выбирают с большой осторожностью. Вместе с тем процесс деформирования протекает с большой неравномерностью, что при пониженных пластических свойствах может привести к появлению внутренних трещин, в особенности при ковке круглых штанг, в которых трещины образуются в центре.

Прокатка слитков и заготовки в сорт производится по специальной калибровке с малыми обжатиями. Чтобы скорость деформации не была значительной, прокатку ведут с небольшими скоростями. Это необходимо также для обеспечения надежного захвата полосы валками. Желательная температура конца прокатки не ниже 950°, так как сопротивление деформации при дальнейшем снижении температуры настолько возрастает, что прокатка становится невозможной. В промежуточных стадиях целесообразно прекращать обработку при температуре 1000°.

Вследствие самозакаливаемости быстрорежущей стали заготовку и сорт после прокатки иковки следует охлаждать медленно.

## ГЛАВА 6

### ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ. ТОЛСТЫЕ ЛИСТЫ

Классификация листовой стали. Все листы разделяются на три основных класса: 1) толстые листы, 2) тонкие листы и 3) универсальную сталь. Определяющим различием между двумя первыми классами является толщина: по нашим стандартам листы в 3,75 мм и тоньше считаются тонкими, листы толще 3,75 мм относятся к толстым. Наименьшая ширина листов первых двух классов принята в 600 мм, наибольшая для толстых листов достигает 4800 мм, для тонких — 2200 мм. Третий класс является несколько обособленным. Во-первых, универсальная сталь прокатывается на специальных станах с вертикальными валками, обрабатывающими боковые кромки, которые получаются после прокатки готовыми. В первых же двух классах боковые кромки получаются готовыми только после резки на ножницах. Вторая особенность универсальной стали заключается в том, что ширина ее находится в пределах 200—1500 мм. Следовательно, при ширине от 600 до 1500 мм универсальная сталь представляет собой в сущности толстые листы, в пределах же от 200 до 600 мм — это широкая полосовая сталь.

Более подробно о сортаменте каждого класса сказано ниже, при рассмотрении процессов прокатки.

#### 1. Сортамент толстых листов

По размерам. Большая часть толстых листов имеет следующие нормальные размеры: ширину 600—3000 мм, толщину 4—60 мм, длину 4—12 м.

В специальных случаях, например, для изготовления паровых котлов высокого давления, паровозных рам, судовой и танковой брони и пр., эти размеры могут увеличиваться по ширине до 4800 мм, по толщине до 460 мм и по длине до 25 м, в исключительных случаях — до 36 м.

По качеству и применению. В зависимости от марки стали толстые листы делятся на следующие, наиболее характерные, категории.

Резервуарная сталь. Качественная характеристика этих листов определяется технологическими пробами (холодный изгиб и сварка с изгибом). Таким образом, листы этой стали по качеству наиболее просты.

Мостовая сталь имеет временное сопротивление  $R = 38—45$  кг/мм<sup>2</sup> при относительном минимальном удлинении  $i = 22\%$  (сталь 3).

Котельная сталь изготавливается трех марок:

Сталь 2 — предел прочности при растяжении  $R = 34—42$  кг/мм<sup>2</sup>, минимальное относительное удлинение  $i = 26\%$ .

Сталь 3 —  $R = 38—45$  кг/мм<sup>2</sup>,  $i = 22\%$ .

Сталь 4 —  $R = 42—50$  кг/мм<sup>2</sup>,  $i = 20\%$ .

Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,05% для каждого элемента.

Топочная сталь по характеристике близко подходит к котельной стали марки Сталь 2, отличаясь от нее нижним значением предела прочности при растяжении, равным 33 кг/мм<sup>2</sup>, и содержанием серы и фосфора, которое не должно превышать 0,04% для каждого элемента.

Судостроительная сталь углеродистая изготавливается с пределом прочности при растяжении от 41 до 50 кг/мм<sup>2</sup> при удлинении от 16 до 20% в зависимости от толщины листа.

Броневая сталь, или просто броня, для морских судов, танков и инженерных сооружений изготавливается по специальным техническим условиям.

## 2. Исходный материал

Толстые листы прокатываются из слитков и из слябов. Размеры и вес слитков и слябов колеблются в весьма широких пределах.

Слитки. Для обычных листов применяются слитки весом от 300 до 6000 кг. Для специальных случаев прокатки вес слитков достигает значительно больших величин. Например, листы таких видов, как броня, паровозные рамы и другие, прокатываются из слитков весом от 8 до 250 т.

Размеры слитка выбираются из следующих соотношений между ними. За исходную величину принимается толщина слитка, зависящая от получения необходимой степени обжатия. В старых станах толщина слитка лимитируется величиной наибольшего подъема верхнего вала. С точки зрения качества металла необходимо прокатывать листы из возможно более толстого слитка. Но при этом приходится считаться с увеличением числа пропусков, что, во-первых, не всегда можно допустить, вследствие значительного понижения температуры к концу прокатки, во-вторых, это часто бывает связано со снижением производительности стана. Поэтому необходимо выбирать толщину слитка с учетом указанных двух условий.

Практика указывает, что для получения необходимой качественной характеристики степень деформации должна быть не меньше 20-кратной. Влияние степени деформации сказывается при

прокатке наиболее толстых листов, когда она может оказаться недостаточной.

Отношение ширины слитка к толщине берется в пределах 2—3, причем первая цифра относится к более легким слиткам.

Высота слитка принимается в 3,5—5 раз больше толщины его. В табл. 68 приведены размеры листовых слитков весом от 300 до 100 000 кг.

Таблица 68

Размеры сечения слитка внизу, мм		Высота мм	Вес кг	Размеры сечения слитка внизу, мм		Высота мм	Вес кг
ширина	толщина			ширина	толщина		
350	180	1 000	300	1 130	420	1 800	4 200
450	225	1 100	600	1 150	490	1 800	5 200
570	220	1 200	800	1 330	500	2 000	7 200
600	240	1 200	1 000	1 700	500	2 000	10 000
630	280	1 200	1 200	1 800	600	2 200	14 000
700	300	1 250	1 400	2 280	710	2 400	23 000
850	300	1 300	1 800	2 680	960	4 000	72 000
930	320	1 400	2 200	3 000	1 000	4 200	100 000
1 000	350	1 500	2 800				

Необходимо отметить, что часть слитков весом до 6 т и все слитки большего веса отливаются в изложницы с расширением кверху и с утеплителями.

Слябы. Для прокатки листов на одноклетевых или комбинированных станах размеры слябов выбирают, исходя из необходимого веса их, так как ширина листа, как указано ниже, почти всегда получается путем раската сляба поперек длины или на угол. Поэтому ширина сляба при той или иной длине его зависит от толщины, при выборе которой руководствуются следующими соображениями:

1. Степень деформации определяется отношением толщины слитка к толщине листа, поэтому толщина сляба как промежуточная величина в этом отношении роли не играет.

2. С точки зрения производительности листового стана толщина сляба должна быть взята наименьшая возможная; с другой стороны, необходимо учитывать и условия работы блуминга и слябинга, производительность которых снижается при прокатке слябов малых толщин. Следовательно, размеры слябов должны отвечать оптимальным совокупным условиям обоих станов — листового и обжимного.

Слябы для универсальных станов должны быть шире на 20—100 мм окончательной ширины листа. Длина их определяется шириной нагревательных печей. Максимальный вес берется в соответствии с наибольшим весом слитков, прокатываемых на слябингах.

Практически при прокатке толстых листов можно принять за основные размеры слябов, приведенные в табл. 69.

Таблица 69

Станы	Толщина мм	Ширина мм	Длина мм	Вес кг
Толстолистовой . . . . .	75—300	750—1600	1000—2000	400—7200
Среднелистовой . . . . .	65—150	500—1600	1000—2000	250—3600
Универсальный . . . . .	65—200	220—1600	2000—4500	200—9500

### 3. Типы нагревательных печей

До 1930 г. для нагрева слябов и листовых слитков применялись почти исключительно регенеративные камерные печи. Только для наиболее тяжелых слитков в некоторых случаях строили нагревательные колодцы. В дальнейшем, в связи с значительными усовершенствованиями конструкции методических печей, для нагрева слябов и листовых слитков начали применять исключительно методические рекуперативные трехзонные нагревательные печи с торцевой выдачей. Эта практика нагрева в настоящее время считается стандартной для всех слябов и слитков весом до 6 т. Более легкие слитки и слябы часто нагреваются в методических печах с боковой выдачей, более тяжелые (от 3 до 6 т) — в камерных печах, реже в колодцах.

Самые тяжелые слитки, прокатываемые на броневых станах, нагреваются в камерных печах с выдвижным подом или в колодцах.

Таким образом, слябы и листовые слитки можно нагревать в печах пяти типов: 1) методических с торцевой выдачей, 2) методических с боковой выдачей, 3) камерных регенеративных, 4) камерных с выдвижным подом, 5) колодцах.

Печи каждого из этих типов имеют то или иное применение, и нередко при одинаковых условиях слитки нагреваются в печах разных типов. Однако некоторые общие правила могут быть сформулированы следующим образом:

1. Как основные следует принять два типа печей — методические трехзонные с торцевой выдачей и камерные с выдвижным подом.

2. Печи первого типа можно применять для нагрева всех слябов и слитков весом до 6 т, второго типа — для нагрева более тяжелых слитков.

3. Колодцы целесообразно применять для нагрева слитков мягкой стали или в комбинации с камерными печами с выдвижным подом для всех слитков. В последнем случае камерные печи можно использовать для подогрева слитков легированных сталей.

### 4. Типы толстолистовых станов

Для прокатки толстых листов применяются станы следующих типов: трио Лаута, дуо-реверсивный, кварто-реверсивный.

Станы всех этих типов применяются в составе только одной клетки или в комбинации из нескольких клеток одного или разных типов. Наибольшее распространение имеет одноклетьевого стан трио Лаута с длиной бочки валков от 1800 до 4165 мм. Здесь следует отметить, что характеристика листовых станов определяется длиной бочки валков, либо диаметром валков, причем в последнем случае дается диаметр всех трех валков. Например, говорят, «стан 900/700/900»; это значит, что имеется в виду стан трио Лаута с верхним и нижним валками диам. по 900 мм и средним диам. 700 мм. Более приемлемой следует считать характеристику по длине бочки валка, так как она дает представление о максимальной ширине прокатываемых листов, что в первую очередь характеризует листовый стан. Что же касается диаметра валков, то он может быть одинаковым при разной длине бочки; следовательно, по величине только одного диаметра валков нельзя получить истинного представления о стане.

Это тем более правильно, что какого-либо вполне определенного отношения между длиной бочки к диаметру  $D$  нижнего (или верхнего) валка не существует. Если при длине бочки валков от 1800 до 3000 мм это отношение в большинстве случаев находится в пределах 2,5—3, то при более длинных валках этот показатель увеличивается до 3,5 и даже больше.

В справочнике Хютте предлагается формула для определения диаметра листовых валков в зависимости от длины бочки:

$$D = \sqrt[3]{100 L^2},$$

или иначе:

$$100 L^2 = D^3 \text{ и } \frac{L}{D} = 0,1 \sqrt{D}.$$

Однако эта формула далеко не всегда сходится с данными практики, как видно из сопоставления подсчетов, приведенных в табл. 70, и характеристики некоторых существующих станов, данной в табл. 71.

Как видно из табл. 71, имеются отклонения в длине валков от расчетной в обе стороны. Наибольшие отклонения дают станы заводов А, Б, Ж, И.

Обычно станы трио Лаута для прокатки толстых листов всех размеров делятся на две категории — среднелистовые и толстолистовые. Различие их заключается в размерах валков и, следовательно, в сортаменте прокатываемых листов. Это различие определяется примерными цифрами, приведенными в табл. 72.

Таблица 70

$D$ мм	$\sqrt{D}$	$0,1\sqrt{D}$	$L$ мм	$D$ мм	$\sqrt{D}$	$0,1\sqrt{D}$	$L$ мм
650	25,5	2,55	1650	950	30,8	3,08	2920
700	26,5	2,65	1850	1000	31,7	3,17	3170
750	27,4	2,74	2050	1050	32,4	3,24	3400
800	28,3	2,83	2260	1100	33,2	3,32	3650
850	29,1	2,91	2480	1150	34,0	3,40	3910
900	30,0	3,00	2700				

Примечание. Для станов трио Лаута значение  $D$  относится к нижнему и верхнему валам

Таблица 71

Заводы	$D$ мм	$L$ мм	Длина бочки, которую должен иметь валок в соответствии с фор- мулой, мм
А . . .	860	3000	2500
Б . . .	675	2200	1750
В . . .	850	2350	2480
Г . . .	700	2000	1850
Д . . .	900	2800	2700
Е . . .	700	1800	1850
Ж . . .	750	2400	2050
З . . .	670	1900	1750
И . . .	850	2150	2480
К . . .	1120	4065	3700
Л . . .	1130	4165	3850

Таблица 72

Станы	Диаметр верхнего и нижнего валков мм	Диаметр среднего валка мм	Длина бочки валка мм	Примерный сортамент	
				наибольшая ширина, мм	толщина мм
Среднелистовые . .	650—850	450—550	1800—2150	1500—2200	4—25
Толстолистовые . .	850—1130	550—710	2500—4165	2200—3700	4—60

В станах трио Лаута верхний и нижний валки — приводные, средний — холостой, вращающийся благодаря трению. Верхний и средний валки делаются перемещающимися, причем наибольшая величина перемещения достигает 550 мм. Конструкции нажимного и уравновешивающего механизмов аналогичны тем, которые

применяются в блумингах. Скорость движения нажимных винтов обычно меньше, чем у этих последних.

В качестве двигателя для среднелистовых и толстолистовых станов трио Лаута в большинстве случаев применяется асинхронный мотор с редуктором и маховиками на нем. Мощность двигателя можно ориентировочно принять в 1—1,2 л. с. на 1 мм длины бочки валков. Таким образом, рассматривая мощности двигателей для всех станов — с длиной бочки валков от 1800 до 4165 мм, получим для них пределы 1800—5000 л. с.

Нормальное число оборотов валков в минуту можно принять для среднелистовых станов в 60—75, для толстолистовых в 37—65.

Листовые станы дуо-реверсивные до недавнего времени были основными для прокатки судовой брони. Они имели валки наибольших размеров до diam. 1250 × 4500 мм. В настоящее время в связи с развитием станом кварто листовые станы дуо-реверсивные не устанавливаются.

Станы кварто. Установка этих станом вызывается необходимостью получения толстых листов с наибольшей шириной, равной почти 5000 мм, и для прокатки брони, причем валки достигли наибольших размеров  $\varnothing 1100/1650 \times 5440$  мм.

В последнее время начали применять станы кварто также для прокатки обыкновенных толстых листов, чтобы получать более точную толщину, причем клетки кварто предназначаются преимущественно для чистовой прокатки в комбинированных станах.

Комбинированные станы. Некоторые старые толстолистовые станы состояли из двух дуо-реверсивных клеток, расположенных в одной линии. Прокатка велась последовательно в двух клетках — черновой и чистовой, и в два нагрева. Благодаря такой дифференциации процесса прокатки поверхность листа получалась лучше, так как во второй клетке производились только отделочные пропуски, и следовательно, валки вырабатывались мало.

Эта идея разделения процесса прокатки между двумя клетками осуществлена в станах, состоящих из двух последовательно расположенных клеток — черновой и чистовой. Варианты состава оборудования могут быть следующие:

Варианты	Черновая клетка	Чистовая клетка
1-й	Трио Лаута	Трио Лаута
2-й	Дуо-реверсивная	Трио Лаута
3-й	Дуо-реверсивная	Кwartо
4-й	Трио Лаута	Кwartо
5-й	Кwartо	Кwartо

Непрерывные листовые станы. Часть толстых листов прокатывается на непрерывных листовых станах, в сортаменте которых предусматривается выпуск листов толщиной до 6—12 мм. Некоторые же непрерывные станы выпускают и более толстые листы — до наибольшей толщины 28 мм при ширине — до 2000 мм.

### 5. Процесс прокатки

Процесс прокатки листов различных размеров протекает неодинаково и зависит, в первую очередь, от двух основных факторов — ширины и конечной толщины листа. Оба фактора влияют на величину обжатия и, следовательно, на число пропусков. Давление металла на валки возрастает пропорционально ширине листа. Поэтому обжатие различно для листов разной ширины, причем оно тем меньше, чем шире прокатываемый лист. Это вытекает из того обстоятельства, что допустимое давление металла на валки имеет определенную ограниченную величину, если иметь в виду неблагоприятное отношение длины бочки валка к его диаметру, равное чаще всего 3 или даже больше. Влияние ширины сильнее сказывается при прокатке листов малых толщин 4—8 мм, когда резко падает температура металла к концу прокатки, повышается предел текучести и, следовательно, возрастает давление металла на валки. Поэтому прокатку листов толщиной 4—8 мм необходимо вести как можно быстрее, что осуществимо при ограничении выкатываемой длины листа.

Само собой понятно, что температурные условия при прокатке листов малых толщин из слэбов лучше, чем при прокатке из слитков. Однако во всех случаях прокатка листов малых толщин заканчивается при температуре ниже  $900^\circ$ , а нередко даже и ниже  $800^\circ$ , что приводит к наклепу металла. При прокатке листов толщиной свыше 15 мм картина получается обратная: температура конца прокатки значительно превышает  $900^\circ$ , что обуславливает получение крупнозернистой структуры металла с пониженными механическими свойствами. Поэтому приходится принимать специальные меры для достижения температуры конца прокатки около  $900^\circ$ , задерживая, например, лист на столах перед последними пропусками, производя обдувку воздухом, обрызгивание водяной пылью и пр. Только листы средних толщин (8—15 мм) можно прокатывать в нормальных температурных условиях, однако, и здесь имеет влияние ширина листа.

Из сказанного следует, что характер обжатия листов разных размеров имеет следующие особенности:

1. Прокатка широких листов малых толщин (4—8 мм) производится с интенсивными обжатиями в начальных пропусках, когда металл имеет еще высокую температуру. В дальнейших пропусках обжатия значительно уменьшаются по мере падения температуры металла.

2. При прокатке широких листов толщиной больше 8 мм обжатия в начальных пропусках такие же, как в предыдущем случае, но уменьшение обжатий в последующих пропусках происходит не в такой степени, как при прокатке более тонких листов. При этом разница между обжатиями в начальных и конечных пропусках тем меньше, чем толще прокатываемый лист.

3. При прокатке узких листов обжатия можно увеличить по сравнению с двумя предыдущими случаями.

Рассмотрим теперь явления, которые имеют место при прокатке толстых листов и связаны с изменениями формы валков и их взаимного положения. Причины этих изменений заключаются в следующем: 1) при прокатке валки отходят от правильного горизонтального положения; 2) во время прокатки валки упруго изгибаются под действием давления металла на них; 3) валки постепенно вырабатываются, поэтому форма их постепенно изменяется; 4) вследствие почти непрерывного соприкосновения с горячим металлом валки нагреваются, что ведет к изменению формы валков, различной у отдельных частей их.

Валки могут отклоняться от горизонтального положения по разным причинам, главные из которых — неодинаковая нагрузка на обе шейки валков и неравномерная выработка подшипников. При таком взаимном положении валков просвет между ними становится разным для обоих концов валков (фиг. 214, а).

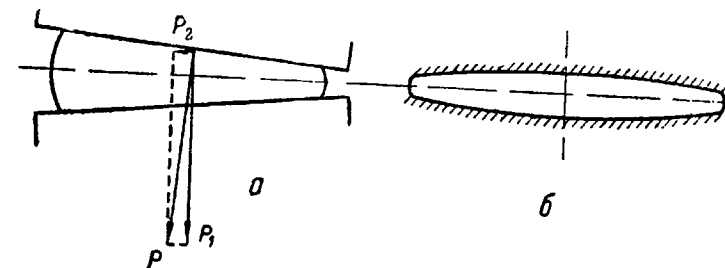


Рис. 214. Взаимное расположение валков толстолистового стана

В этом случае давление валков на металл  $P$  можно разложить на две составляющие  $P_1$  и  $P_2$ <sup>1</sup>, из которых последняя стремится двигать лист по валку, «на станину», в сторону большого просвета. Такое перемещение листа во время прокатки очень опасно, так как может вызвать аварию.

Однако подобное перемещение листа возможно было бы в том случае, если бы валки сохраняли свою правильную цилиндрическую форму. В действительности валки изгибаются под влиянием давления металла на них, вследствие чего сечение листа принимает овальную форму. На рис. 214, б в утрированном виде показан изгиб валков во время прокатки и получающаяся при этом форма сечения листа, при которой он хорошо удерживается валками против осевого перемещения. Поэтому прокатку толстых листов ведут с расчетом получения листа разной толщины по ширине — большей в середине и меньшей по краям. Совершенно

<sup>1</sup> И. М. Павлов, Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ОНТИ НКТП, 1938, стр. 458—459.

понятно, что эта разница в толщинах середины и краев тем больше, чем выше давление металла на валки и, следовательно, чем больше ширина листа и чем ниже температура прокатки. Эта последняя имеет меньшие значения при прокатке листов большей длины и меньшей толщины. Для примера в табл. 73 приведена допускаемая разница между наибольшей и наименьшей толщинами одного и того же листа по ОСТ 10019—39.

Таблица 73

Толщина мм	Отклонения в толщине листа при ширине, мм				
	до 1500	от 1501 до 1700	от 1701 до 1800	от 1801 до 2000	от 2001 до 2300
4	1,1	1,4	1,8	—	—
8—10	1,0	1,2	1,6	1,6	2,0
16—20	0,8	1,0	1,4	1,4	1,7

Форма валков изменяется также вследствие постепенной выработки их. Таким образом, суммарное действие прогиба валков и выработки их увеличивает разницу в толщинах середины и краев. Для компенсации этой разницы средний валок растачивается таким образом, что середина бочки делается несколько полнее краев, причем каждый последующий сменяемый средний валок делается полнее предыдущего, так как выработка

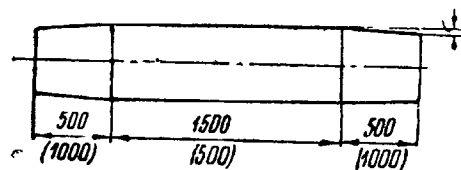


Рис. 215. Форма среднего валка

верхнего и нижнего валков постепенно возрастает. При обточке валков поверхность нельзя выполнить очерченной плавной кривой большого радиуса, и обычно поступают таким образом: среднюю часть валка на некоторой длине оставляют цилиндрической, а к краям валок обтачивается на конус (рис. 215). Например, порядок обточки среднего валка длиной 2500 мм можно принять такой: 1-й валок делается с конусом 0,3 мм на протяжении 500 мм от концов валка, 2-й валок укладывается с конусом 0,6—0,7 мм на длине 1000 мм от концов; начиная с третьего валка, длина конуса не меняется, но размер его увеличивается после каждой перевалки на 0,3 мм, достигая 2,5 мм для 8-го валка, после чего вся тройка меняется. Продолжительность работы одного среднего валка зависит от сортамента прокатываемых листов и составляет 36—48 час. Таким образом, в неделю приходится менять 3—4 средних валка, а перевалка всей тройки производится через каждые 2—3 недели.

Следующим фактором, меняющим форму валка, является изменение температуры его во время прокатки, вследствие соприкосновения с разогретым металлом. Середина валка нагревается сильнее краев. По этой причине обжатия и, следовательно, удлинение листа по ширине получаются разные — в середине лист обжимается и вытягивается сильнее, чем по краям. Это приводит к тому, что середина листа получается волнистой. Если же в середине валок тоньше, чем по краям, то лист получается волнистым по краям. Самая форма раската получается разной — с вытянутым «язычком» в первом случае и с «рогами» или «ушами» во втором (рис. 216). Для регулирования температуры применяется поливка валков водой, которая попадает также на лист, охлаждая его.

Но это охлаждение не является сколько-нибудь заметным, так как вода принимает сфероидальное состояние.

Серьезным вопросом при прокатке толстых листов является удаление окалины, которая при обжатии может вдавливаясь в металл и портить поверхность. На старых станах трио Лаута применяются примитивные методы — сметание метлами вручную и подбрасывание березовых прутьев, которые способствуют раздроблению окалины при прохождении листа между валками. На новых станах окалина смывается водой под высоким давлением.

Порядок прокатки толстых листов. Большая часть толстых листов прокатывается в две стадии. В первой стадии производится разбивка слитка или сляба для получения необходимой ширины, во второй стадии лист прокатывается до необходимой длины. Схематически процесс можно представить себе в таком порядке: сначала идет прокатка поперек длины слитка, затем — вдоль. Необходимо отметить, что основное направление прокатки идет по длине слитка или сляба головной частью вперед.

Практически прокатку в первой стадии ведут с задачей слитка или сляба в валки не по длине, а «углом» или «диагональю» (рис. 217). Таким способом слиток задается в валки, начиная с третьего или пятого пропуска, в первых же двух—четырех пропусках выравнивается толщина слитка. Углы, которыми слиток или сляб задается в валки, поочередно меняются после каждого пропуска. Обычно слитки пропускают на угол 10—14 раз, после чего начинают раскатывать их по длине. Изменение ширины листа после каждого пропуска можно определить по формуле:<sup>1</sup>

<sup>1</sup> И. М. Павлов, Теория прокатки и основы пластической деформации металлов ОНТИ НКТП, 1928, стр. 232.

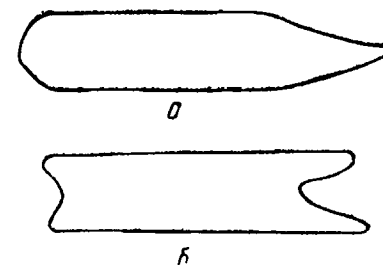


Рис. 216 Форма неправильно прокатанных листов



$$B_2 = B_1 \frac{\mu}{\sqrt{1 + \sin^2 \delta (\mu^2 - 1)}},$$

где  $B_1$  — ширина слитка до пропуска;

$B_2$  — то же после пропуска;

$\delta$  — угол, образуемый продольной осью слитка с осью валков (угол задачи);

$\mu$  — коэффициент вытяжки за данный пропуск.

На практике большей частью угол  $\delta = 20\text{--}45^\circ$ , причем прокатку обычно ведут в таком порядке: сначала дают 2—4 пропуска с углом задачи  $45^\circ$ , затем переходят на угол задачи  $30^\circ$ , наконец, последние пропуски производят с углом задачи  $20^\circ$  или даже несколько меньшим. В соответствии с такими углами задачи получают следующие коэффициенты увеличения ширины слитка за пропуск:

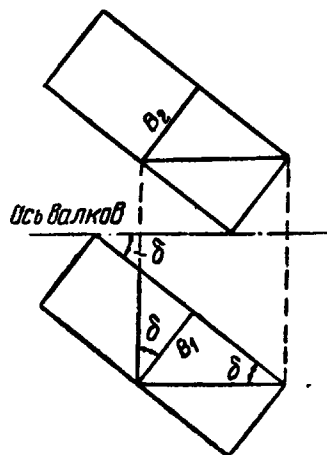


Рис. 217. Задача листа «углом»

при угле  $45^\circ$ :

$$\beta = \frac{B_2}{B_1} = \frac{1,4\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}}, \quad (59a)$$

при угле  $30^\circ$ :

$$\beta = \frac{2\mu}{\sqrt{\mu^2 + 3}}, \quad (59б)$$

при угле  $20^\circ$ :

$$\beta = \frac{3\mu}{\sqrt{\mu^2 + 7,7}}. \quad (59в)$$

Задача слитка в валки углом имеет преимущество перед задачей длиной, потому что при этом ширина слитка как в данном пропуске, так и от пропуска к пропуску увеличивается постепенно, и следовательно, давление металла на валки растет также постепенно, что позволяет давать большие обжатия без опасения перегрузить стан. Следовательно, при прокатке слитка углом можно получить лист требуемой ширины при меньшем числе пропусков.

После каждой смены среднего валка сначала прокатывают широкие и тонкие листы, затем, по мере выработки валков, постепенно переходят на листы более узкие и толстые с таким расчетом, чтобы разница в толщине не превышала установленных допусков.

Течение материала при прокатке толстых листов в большинстве случаев имеет такой же примерно характер, как при прокатке слэбов на блюминге, т. е. как в случае изменения массы большого объема с малыми обжатиями. Следовательно, здесь деформация имеет неравномерный характер, при-

чем величина ее больше у контактных поверхностей, чем в средних слоях, вследствие чего и уширение металла сосредоточивается в верхних слоях слитка, где образуются значительные наплывы металла, которые при дальнейшей осадке слитка дают складки на его боках (рис. 218). Этим прокатка толстых листов отличается от прокатки слэбов на блюминге, где слиток несколько раз кантуется и пропускается на ребро для снятия уширения. Кроме того, уширение имеет место при прокатке листов до тех пор, пока слиток не раскатан еще до полной ширины, после чего уширение практически отсутствует.



Рис. 218. Образование складок на боках листов

Неравномерность деформации наиболее резко выявляется при прокатке листов из слитков больших толщин. При прокатке листов из слэбов неравномерность ниже, а при наиболее тонких слэбах деформация имеет противоположный характер, т. е. боковые кромки получают выпуклыми.

Совершенно понятно, что на универсальных станах кромки получаются без вогнутости и выпуклости, благодаря действию вертикальных валков. Поэтому в последние годы толстолистовые станы устанавливаются также с вертикальными валками.

Следующая особенность прокатки толстых листов заключается в том, что процесс происходит в широком температурном интервале в отличие от того, что имеет место на блюминге, где перепад температур составляет всего  $\sim 50^\circ$ . На толстолистовых станах начальная температура прокатки слитков достигает  $1300^\circ$ , в конце же прокатки температура часто падает до  $850\text{--}800^\circ$ . Вследствие этого скорость рекристаллизации получается различной в разные моменты процесса прокатки и к концу его нередко настолько понижается, что лист выходит из стана в наклепанном состоянии. Это вызывает получение волокнистой структуры, чему способствуют специфические условия листовой прокатки, при которой металл вытягивается преимущественно в одном направлении.

## 6. Выбор величины обжатия при прокатке толстых листов

Вопрос о выборе величины обжатия при прокатке толстых листов, как и в других случаях прокатки (например, блюмов и слэбов), при общей его постановке должен решаться в зависимости от трех факторов: 1) качества металла, 2) мощности двигателя и 3) прочности деталей стана, в первую очередь валков. В большинстве случаев прокатки толстых листов этот вопрос может решаться только в зависимости от прочности валков, так как допускаемые этой последней величины обжатия получаются обычно ниже тех, которые определяются качеством металла



и мощностью двигателя. Это подтверждается следующими соображениями. Большая часть листов прокатывается из слитков мягкой стали, обладающих высокой пластичностью. Только при прокатке листов из высокоуглеродистых и легированных сталей приходится принимать во внимание пониженную пластичность их в начальной стадии прокатки. Но прокатка таких сталей связана с увеличением давления металла на валки, что приводит к повышению напряжений в этих последних и, следовательно, к снижению величины обжатий. Таким образом, при прокатке листов любого качества величина обжатия зависит от прочности валков. Что же касается мощности двигателя, то лишь в отдельных случаях она может оказаться недостаточной при прокатке с обжатиями, определяемыми прочностью валков. В таких случаях необходима проверка выбранных обжатий с точки зрения нагрузки на двигатель.

Величина обжатия в зависимости от давления металла на валки в станах трио Лаута определяется из формулы:

$$P = pb \sqrt{\frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2} (H - h)},$$

где  $p$  — удельное давление металла на валки;

$b$  — ширина листа;

$D_1$  — диаметр верхнего и нижнего валков;

$D_2$  — диаметр среднего валка;

$(H - h)$  — обжатие.

Из этой формулы можно определить обжатие:

$$(H - h) = \frac{D_1 + D_2}{D_1 D_2} \cdot \left( \frac{P}{pb} \right)^2.$$

Если обозначим отношение  $\frac{D_2}{D_1}$  через  $i$ , то формула перепишется так:

$$(H - h) = \frac{i + 1}{i \cdot D_1} \cdot \left( \frac{P}{pb} \right)^2.$$

Величина  $i$  находится в пределах 0,65—0,75, в среднем составляя 0,7. Если принять  $i = 0,7$ , то в некоторых случаях будут получаться результаты с отклонением  $\pm 4\%$ , т. е. практически небольшими. Таким образом, с достаточной точностью можно принять:

$$(H - h) = \frac{2,4}{D_1} \cdot \left( \frac{P}{pb} \right)^2. \quad (60)$$

В этом выражении  $P$  представляет собой предельное допустимое давление прокатки при данных  $p$ ,  $b$  и  $D_1$ , которому соответствует наибольшее возможное обжатие  $(H - h)$ . Свяжем величину  $P$  с изгибающим моментом валка  $M$ :

$$M = P \left( \frac{a}{4} - \frac{b}{8} \right),$$

или:

$$M = \frac{P}{8} (2a - b),$$

откуда:

$$P = \frac{8M}{2a - b}.$$

Здесь:  $a$  — расстояние между серединами шеек валка;

$b$  — ширина прокатываемого листа.

Далее известно, что:

$$M = 0,1 \sigma D_1^3,$$

где  $\sigma$  — допускаемое напряжение изгиба в кг/мм<sup>2</sup>,

$D_1$  — диаметр верхнего и нижнего валков в мм.

Для закаленного чугуна можно принять:  $\sigma = 500$  кг/см<sup>2</sup>, или 5 кг/мм<sup>2</sup>; для литой стали  $\sigma = 1000$  кг/см<sup>2</sup>, или 10 кг/мм<sup>2</sup>.

Если взять наиболее распространенный случай прокатки листов — в валках закаленного чугуна, то:

$$P = \frac{4 D_1^3}{2a - b}. \quad (61)$$

Обозначив

$$\frac{b}{a} = m \quad \text{и} \quad \frac{a}{D_1} = n$$

и подставив их в выражение (61), получаем:

$$P = \frac{4a^3}{n^3 (2 - m)}.$$

Теперь в формуле (60) заменим  $D_1$ ,  $P$  и  $b$  их новыми значениями:

$$(H - h) = \frac{2,4 n}{a} \cdot \left[ \frac{4a^3}{pm(2 - m)n^3} \right]^2.$$

После преобразований имеем:

$$(H - h) = \frac{38,4}{n^5} \cdot \frac{a}{[pm(2 - m)]^2}. \quad (62)$$

Пользуясь этой формулой, можно определить обжатие при прокатке листов в зависимости от величин  $m$ ,  $n$ ,  $a$  и  $p$ .

Для каждого данного стана величина  $n$  имеет вполне определенное значение; для большинства станов  $n = 3,5$ . Введя это значение  $n$  в формулу (62), получаем:

$$(H - h) = \frac{0,073 a}{[pm(2 - m)]^2}. \quad (63)$$

На основании формул (62) и (63) можно построить график для определения допустимой величины обжатий на данном стане в зависимости от удельного давления металла на валки. График представится, очевидно, в виде связки кривых, отвечающих отдельным значениям произведения  $m$  ( $m = 2$ ), которые практически находятся в пределах 0,4—0,9.

## 7. Схемы обжатий при прокатке толстых листов

Схемы обжатий толстых листов могут значительно отличаться одна от другой, так как прокатываются листы по самому широкому сортаменту, из исходных материалов, форма и размеры которых также могут значительно колебаться. Поэтому ниже рассмотрен пример только одной из таких схем. Характер прокатки во всех схемах примерно одинаков:

1)) несколько первых пропусков (2—4) даются для выравнивания толщины слитка;

2) дальше идет раскатка слитка углом для получения листа необходимой ширины (10—14 пропусков);

3) после этого переходят на раскатку слитка в длину.

Часто последние 1—2 пропуска дают без обжатия для выравнивания поверхности листа.

Относительное обжатие по высоте слитка находится в пределах 5—20%, чему соответствуют коэффициенты вытяжки 1,053—1,250; более низкие коэффициенты относятся к начальным пропускам. По мере хода прокатки, при постепенном уменьшении толщины, коэффициенты возрастают, хотя абсолютные обжатия понижаются. Средний коэффициент вытяжки можно принять равным 1,08—1,12 при прокатке листов из слитков и 1,12—1,14 — при прокатке их из слябов.

При разработке схем обжатий для прокатки толстых листов заданных размеров необходимо учитывать отходы в виде обрезков и угара. Листы разных марок дают отходы различной величины.

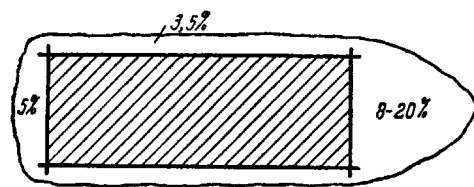


Рис. 219. Форма листа после прокатки

и распределение обрезков. От каждой боковой кромки отрезается 3,5%, от заднего конца — 5% и от головной части — от 8 до 20%, причем первая из этих величин относится к резервуарной стали, а последняя к качественным, таким, как котельная, судовая, марганцовистая сталь и др. В соответствии с указанным распределением обрезков расход слитков на листы можно определить из следующего расчета:

$$\begin{aligned} \text{Угар + обрезки} &= 3 + (20 \div 32) = 23 \div 35\% \\ \text{Выход годного: } 100 - (23 \div 35) &= 77 \div 65\% \end{aligned}$$

Расход слитков на 1 т прокатанных листов:

$$100 : (77 \div 65) = 1,30 + 1,54.$$

Нередко на заводах, имеющих тонколистовые станы, вес слитка берется с расчетом на большую обрезку головной части

для утилизации ее на сутунку, идущую для прокатки тонких листов.

Допустим, что требуется прокатать лист котельной стали  $6000 \times 1800 \times 14$  мм на стане трио Лаута с вальками диам.  $850 \times 2500$  мм; длина шейки — 500 мм.

1. Определим вес листа:

$$60 \times 18 \times 0,14 \times 7,8 = 1180 \text{ кг.}$$

2. Вес слитка при расходе металла в 1,54 т на 1 т листа будет равен:

$$1180 \times 1,54 = 1817 \text{ кг.}$$

3. Рыбираем размеры слитка: а) толщину  $B$  слитка берем внизу 325 мм, сверху 285 мм; б) высоту  $H$  слитка можно принять равной 1000 мм, что дает отношение  $(H : B) \approx 3,1$ ; в) ширина слитка получается равной — внизу 930 мм, сверху 900 мм.

4. Ширина листа после прокатки определяется, исходя из потерь на обрезку каждой кромки в 3,5% от веса готового листа:

$$1800 \times 1,07 \approx 1930 \text{ мм.}$$

5. Раскатанный лист будет иметь: ширину 1930 мм; толщину 14 мм; площадь сечения  $19,3 \times 0,14 = 2,70 \text{ дм}^2$ ; вес (за вычетом угара)  $1817 \times 0,97 = 1762 \text{ кг}$ ; объем металла  $1762 : 7,8 = 226 \text{ дм}^3$ ; условную длину  $226 : 2,70 = 83,7 \text{ дм} = 8370 \text{ мм}$ .

Определим общее число пропусков, приняв средний коэффициент вытяжки в 1,12:

$$n = \frac{\lg \mu_{\text{обж}}}{\lg \mu_{\text{ср}}} = \frac{\lg \frac{325}{14}}{\lg 1,12} \approx 28.$$

Принимаем  $n = 29$ , из них для:

выравнивания толщины . . .	2 пропуска
поперечной раскатки . . . .	10 пропусков
продольной . . . . .	17 .

После первых двух пропусков слиток будет иметь толщину 285, среднюю ширину 915, длину 1000 мм.

Ширина слитка взята средняя между верхом и низом, длина осталась без изменения вследствие уплотнения металла.

Размеры слитка после прокатки на угол можно определить, исходя из следующих положений.

Ширина слитка вычисляется по приведенным выше формулам (59а—б). В эти формулы для определения ширины листа входит коэффициент  $\mu$ , которым можно задаться как средним для всех пропусков от 3 до 12-го. Практически величина его в период разбивки находится в пределах 1,08—1,10. Примем его для нашего случая равным 1,09. Общая вытяжка за рассматриваемый период прокатки составит  $1,09^{10} = 2,368$ . Следовательно, расчетная толщина слитка после разбивки

$$285 : 2,368 \approx 120 \text{ мм.}$$

Фактически она получилась равной 118 мм.

Вычислим коэффициенты ширины при различных углах задачи: при угле 45°

$$\beta = \frac{1,4 \cdot 1,09}{\sqrt{1,188 + 1}} \approx 1,048,$$

при угле 30°

$$\beta = \frac{2 \cdot 1,09}{\sqrt{1,188 + 3}} \approx 1,063,$$

при угле 20°

$$\beta = \frac{3 \cdot 1,09}{\sqrt{1,188 + 7,7}} \approx 1,097.$$

Общий коэффициент увеличения ширины

$$1930 : 915 = 2,11.$$

Он получается при следующей комбинации пропусков с разными углами задачи:

2 пропуска с углом 45°	1,048 <sup>2</sup> = 1,09
2       "      "      30°	1,063 <sup>2</sup> = 1,13
6       "      "      20°	1,097 <sup>6</sup> = 1,74

Длину слитка  $L_n$  после каждого пропуска вычисляем, исходя из объема  $V$  металла и площади  $F_n$  поперечного сечения:

$$L_n = V : F_n.$$

Обжатие при раскатке листа в длину принимаем в первых пропусках равным 10 мм и постепенно уменьшаем его до 1 мм.

Составленная таким путем схема обжатий приведена в табл. 74.

Но прежде, чем производить все вычисления, необходимо проверить допустимость выбранных обжатий по формуле (63). Для этого надо знать величину удельного давления металла на валки. Вычисляя ее по формуле Экедунда, можно учесть влияние внешнего трения и скорости деформации в период разбивки, вводя коэффициент 1,10 (эти вычисления не приводятся), так как температура в указанном периоде падает не больше чем на 50°. Принимая температуру начала прокатки 1250°, находим, что прокатка слитка на угол будет закончена при температуре 1200°. Удельное сопротивление металла при статическом сжатии определяем по формуле:

$$\sigma = -(14 - 0,01 T) (1,4 + C + Mn),$$

в которой  $T = 1250^\circ$  и  $1200^\circ$ ,  $C = 0,1\%$  и  $Mn = 0,5\%$ ;

$$\sigma_{1250} = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ кг/мм}^2;$$

$$\sigma_{1200} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ кг/мм}^2.$$

Таблица 74

№ пропусков	Толщина слитка мм	Коэффициент обжатия толщины	Обжатия мм	Угол задачи	Ширина слитка мм	Площадь поперечного сечения см²	Длина слитка после пропуска, м.
0	325	—	—	—	915	2970	1,0
1	305	1,066	20	—	915	2790	1,0
2	285	1,070	20	—	915	2610	1,0
3	261	1,090	24	45°	960	2500	1,0
4	240	1,090	21	45°	1005	2420	1,0
5	220	1,090	20	30°	1065	2340	1,0
6	200	1,090	20	30°	1130	2260	1,0
7	183	1,090	17	20°	1230	2250	1,0
8	168	1,090	15	20°	1335	2250	1,0
9	154	1,090	14	20°	1460	2250	1,0
10	141	1,090	13	20°	1600	2260	1,0
11	129	1,090	12	20°	1760	2270	1,0
12	118	1,090	11	20°	1930	2270	1,0
13	108	1,093	10	—	1930	2084	1,1
14	98	1,102	10	—	1930	1891	1,2
15	88	1,114	10	—	1930	1698	1,3
16	80	1,100	8	—	1930	1544	1,5
17	72	1,111	8	—	1930	1390	1,7
18	64	1,125	8	—	1930	1235	1,9
19	56	1,143	8	—	1930	1080	2,1
20	49	1,143	7	—	1930	946	2,4
21	42	1,167	7	—	1930	810	2,8
22	36	1,167	6	—	1930	695	3,3
23	30	1,200	6	—	1930	579	4,0
24	24	1,250	6	—	1930	463	4,9
25	20	1,200	4	—	1930	386	5,9
26	17	1,176	3	—	1930	323	7,0
27	15	1,133	2	—	1030	290	7,8
28	14	1,071	1	—	1930	270	8,37
29	14	1,000	0	—	1930	270	8,37

Удельное сопротивление деформации соответственно равно:

$$p_{1250} = 3,3 \text{ кг/мм}^2$$

$$p_{1200} = 4,4 \text{ кг/мм}^2.$$

Теперь можем определить допустимое обжатие в 3 и 12-м пропусках по формуле (63):

$$(H - h) = \frac{0,073 a}{[pm(2 - m)]^2},$$

в которой:

$$a = 3000$$

$$p = 3,3 \text{ и } 4,4,$$

$$m = \frac{b}{a} = \frac{960}{3000} = 0,32 \text{ для 3-го пропуска,}$$

$$m = \frac{b}{a} = \frac{1930}{3000} = 0,64 \text{ для 12-го пропуска,}$$

В 3-м пропуске

$$(H-h) = \frac{219}{[3,3 \cdot 0,32 \cdot 1,68]^2} \approx 69 \text{ мм.}$$

В 12-м пропуске

$$(H-h) = \frac{219}{[4,4 \cdot 0,64 \cdot 1,36]^2} \approx 15 \text{ мм.}$$

Аналогичные вычисления можно произвести и для других пропусков.

### 8. Особенности прокатки листов разных марок

Наиболее простой маркой листовой стали является резервуарная. Листы этой марки подвергаются испытаниям только на загиб и сварку. Поэтому и прокатка таких листов не представляет особых трудностей. Большая часть листов резервуарной стали имеет малую толщину — до 4 мм. Это заставляет нагревать слитки или слябы до наиболее высокой температуры; однако, и при этих условиях прокатка заканчивается чаще всего при температуре ниже 850°, т. е. листы получают в наклепанном состоянии. Большого значения этот фактор для резервуарной стали не имеет, так как металл на растяжение не испытывается.

Следующая марка листовой стали — мостовая. Так как листы этой марки испытываются на растяжение и на ударную вязкость, то здесь приобретает значение температура конца прокатки, которая должна быть, по возможности, не ниже 900°. Выполнение этого условия вполне можно обеспечить, так как листы имеют сравнительно небольшую ширину и, следовательно, могут прокатываться с значительными обжатиями, т. е. за меньшее число пропусков, чем широкие листы стали других марок.

Наиболее трудна прокатка листов котельной и судостроительной сталей, которые должны обладать высокими механическими свойствами. Котельная сталь прокатывается из слитков как кипящей стали, так и стали, успокоенной алюминием. Предпочтение следует отдать последней, обладающей лучшими механическими свойствами и более высокой однородностью. Для котельной стали это имеет особенное значение, потому что содержание в ней фосфора и серы не должно превышать 0,05% по каждому элементу. При большей неоднородности кипящей стали не всегда можно обеспечить такое содержание серы и фосфора, если даже в головной части обрезается до 20% слитка. В этой связи важное значение имеет правильное ведение процесса прокатки, главным образом, во время разбивки ширины, так как всякое отклонение в сторону увеличения последней сверх расчетной сокращает длину листа и, следовательно, уменьшает величину обрезки головной части, содержащей ликваты, богатые серой и фосфором.

Важным фактором в процессе прокатки котельной стали является также температурный режим. При правильном ведении процесса прокатка слитков должна начинаться при температуре 1270—1300°, прокатка слябов при 1180—1200° и заканчиваться при температуре не ниже 900° во избежание получения наклепа и связанного с ним понижения удлинения. С другой стороны, эта температура не должна быть выше 950°, чтобы не образовалось крупное зерно, понижающее вязкость. Такое понижение вполне возможно при прокатке котельных листов большой толщины (> 20 мм), когда температура в конце прокатки может достигать 1000°, если не принимать специальных мер для искусственного охлаждения металла.

Наконец, еще один существенный фактор обеспечения надлежащих механических свойств котельной стали — правильный режим охлаждения листов после прокатки. Для получения хорошей вязкости листы после прокатки необходимо быстро охладить на рольганге примерно до нижней критической точки (650°), затем снимать и класть в штабель, где они медленно охлаждаются. Здесь получается нормализация и отпуск с использованием тепла, которое листы имеют после прокатки.

При прокатке углеродистой судостроительной стали также очень важно обеспечить надлежащую температуру конца прокатки. Для достижения хорошего качества прокатку этих листов ведут с получением сорбитовой структуры, что осуществляется путем обрызгивания поверхности листа водяной пылью во втором периоде прокатки (при раскатке в длину).

На некоторых станах листы (малых толщин) после прокатки проходят термическую обработку, которой подвергаются листы после отделки или сразу по выходе из стана, т. е. с использованием прокатного нагрева. В первом случае термические печи (отжигательные или нормализационные) располагаются в листоотделочной, во втором случае — на линии рольганга, транспортирующего листы от стана к ножницам.

### 9. Отделочные операции при производстве толстых листов

Прокатанные на стане листы получают с волнистой поверхностью, с неровным очертанием поверхности, с припусками на обрезку и с наружными дефектами. Поэтому после прокатки листы проходят отделочные операции для устранения указанных недостатков. К этим операциям относятся: 1) правка, 2) осмотр, 3) обрезка листа со всех сторон для получения заданных размеров и 4) удаление наружных дефектов. К отделочным операциям относится и термическая обработка.

**Правка.** Листы правятся как в холодном состоянии, так и в горячем, вскоре после выхода из стана. В первом случае правильная машина находится на складе готового продукта, во втором — располагается на линии рольганга, отводящего лист от стана.

Хотя правка сопровождается относительно небольшой деформацией, она все же протекает в условиях пластического состояния металла, и следовательно, в результате правки неизбежно получаются остаточные напряжения. Поэтому целесообразнее править листы в горячем состоянии, что и осуществляется на всех новых толстолистовых и среднелистовых станах. На непрерывных листовых станах по условиям технологического процесса и расположения оборудования правка толстых листов производится в холодном состоянии.

Горячие листы должны передаваться к правильной машине возможно быстрее. Чем горячее металл, тем меньше величина остаточных напряжений. Совершенно нельзя вести правку при температуре синеломкости (около  $300^{\circ}$ ), так как это приводит к ухудшению качества металла.

На процесс правки толстых и средних листов оказывают влияние два фактора — число и прочность роликов. Так как точность правки возрастает с увеличением числа роликов, то общее правило при этом формулируется таким образом: чем тоньше лист, тем больше роликов должна иметь машина. Практически число роликов у машин для правки толстых и средних листов от 7 до 11.

Прочность роликов имеет важное значение ввиду большой длины их. Для увеличения прочности роликов применяют добавочные опорные ролики.

Горячие листы правятся со скоростью до 40—50 м/мин, холодные — от 6 до 15 м/мин.

Осмотр листов. Во время прокатки постоянно видимой остается лишь верхняя часть листа. Между тем до разметки и резки необходимо знать состояние нижней поверхности листа, чтобы при неудовлетворительном качестве можно было изменить назначение листа. Для этого необходима кантовка листа на  $180^{\circ}$ . Кантовка выполняется кантователями специальной конструкции в виде длинных рычагов, вращающихся на двух параллельных валах (рис. 220). Рычаги одного комплекта приподнимают лист с рольганга и передают его на рычаги второго комплекта, которые опускают его на второй рольганг, где лист и осматривается.

Резка. Перед резкой лист размечается меловыми линиями, которые наносятся посредством бечевки, натираемой мелом, угольника, метра и линейки. На большинстве заводов операции обрезки кромок (продольная резка) и концов (поперечная резка) разделены и выполняются на разных ножницах. При этом на более старых станах обе операции выполняются эксцентриковыми или кривошипными ножницами, расположение которых в потоке видно на рис. 221, где показаны трое ножниц. На первых ножницах обрезают передний и задний концы и разрезают лист на части, если это требуется. На этих же ножницах надрезают полосы для изготовления проб. Рольганг перед ножницами прерывается и лист у ножниц перемещается на «гусиных шейках».

Станины ножниц устанавливаются так, чтобы между ними мог проходить самый широкий лист. Дальше последовательно располагаются двое ножниц для обрезки боковых кромок, причем каждые ножницы режут только одну кромку. На этих ножницах можно разрезать листы на части по длине.

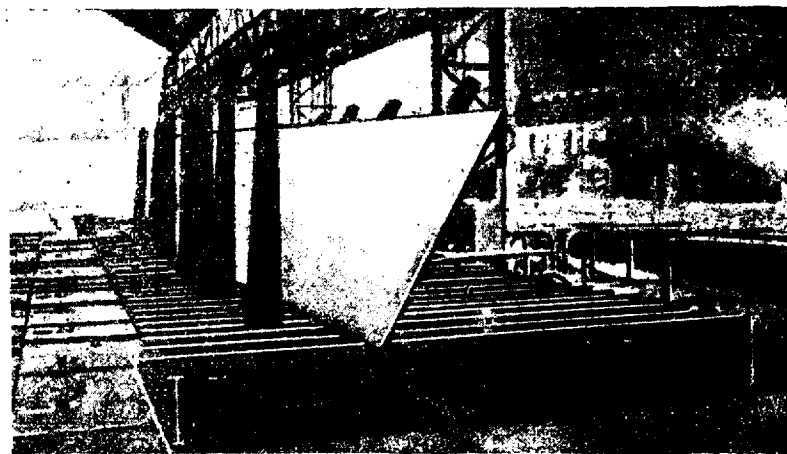


Рис. 220. Кантователь для листов

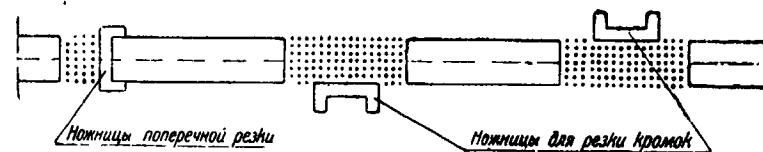


Рис. 221. Расположение ножниц

На новых станах боковые кромки режут дисковыми ножницами (рис. 222), имеющими три пары дисков, из которых две пары служат для обрезки кромок, а третья — для разрезки листа на части по длине. Средняя пара дисков делается передвижной. Скорость резания составляет 0,25—0,50 м/сек. Дисковые ножницы обычно располагаются впереди ножниц поперечной резки.

На ножницах режут листы толщиной максимум в 50 мм, более толстые листы обрезают кислородно-ацетиленовым пламенем, по возможности в горячем состоянии.

Отделанные листы поступают на склад, где их осматривают, подвергают испытаниям, сдают и отправляют по назначению.

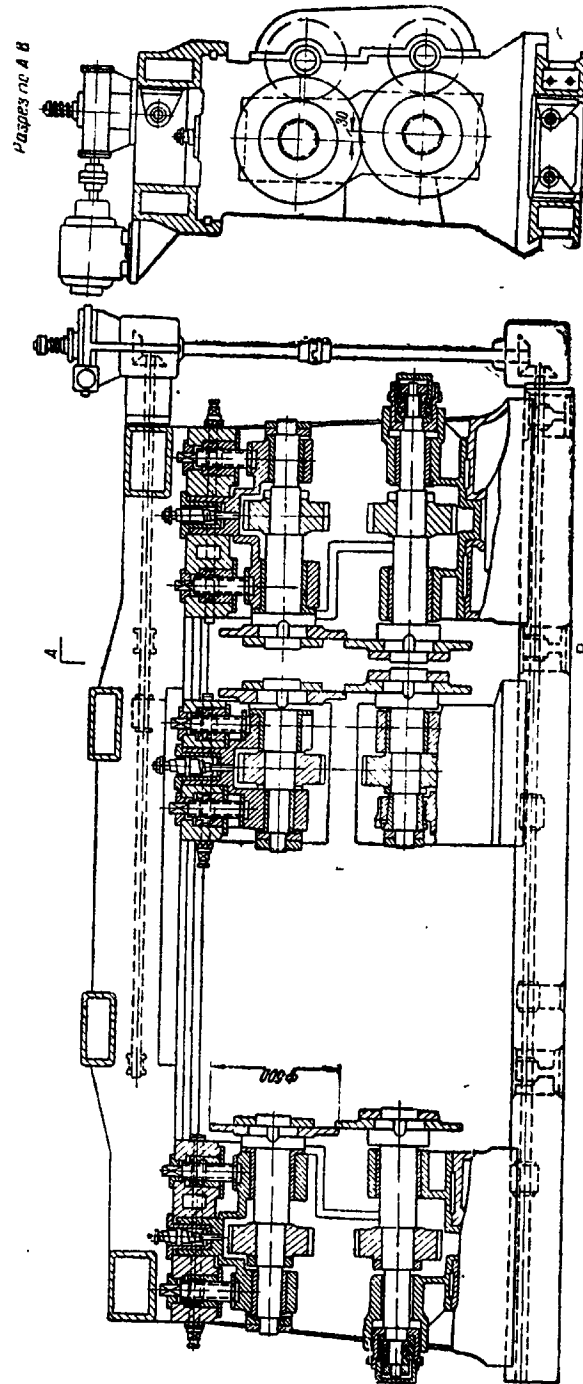


Рис. 222. Дисковые ножницы

### 10. Расположение толстолистовых станов

В виде примера рассмотрим расположение двухклетьевого толстолистого стана 2500 мм (рис. 223). Он состоит из двух клеток, из которых первая — реверсивная дуо, вторая — трио Лаута. Диаметры всех валков равны 850 мм, за исключением среднего валка второй клетки, диаметр которого равен 600 мм. Бочки всех валков имеют одинаковую длину 2500 мм. Привод валков первой клетки осуществляется от реверсивного мотора постоянного тока мощностью 3500 л. с.,  $n = 0-80$ , второй клетки — от мотора переменного тока мощностью 3500 л. с. Число оборотов валков второй клетки — 60 в минуту.

На стане прокатываются листы наибольшей ширины в 2200 мм, толщиной 4—25 мм. Исходным материалом служат слябы шириной от 600 до 1000 мм, толщиной от 100 до 200 мм, с максимальной длиной 3300 мм и весом от 800 до 4000 кг. Слябы нагреваются в двух методических трехзонных печах. Часовая производительность печей до 40 т.

Для уборки и отделки листов имеется следующее оборудование: 1) отводящий рольганг общей длиной около 200 м, 2) роликовая машина для правки горячих листов, 3) механизм для кантовки листов, 4) дисковые ножницы, 5) ножницы для поперечной резки, 6) вспомогательные ножницы с гусиными шейками для порезки листов и обрезков.

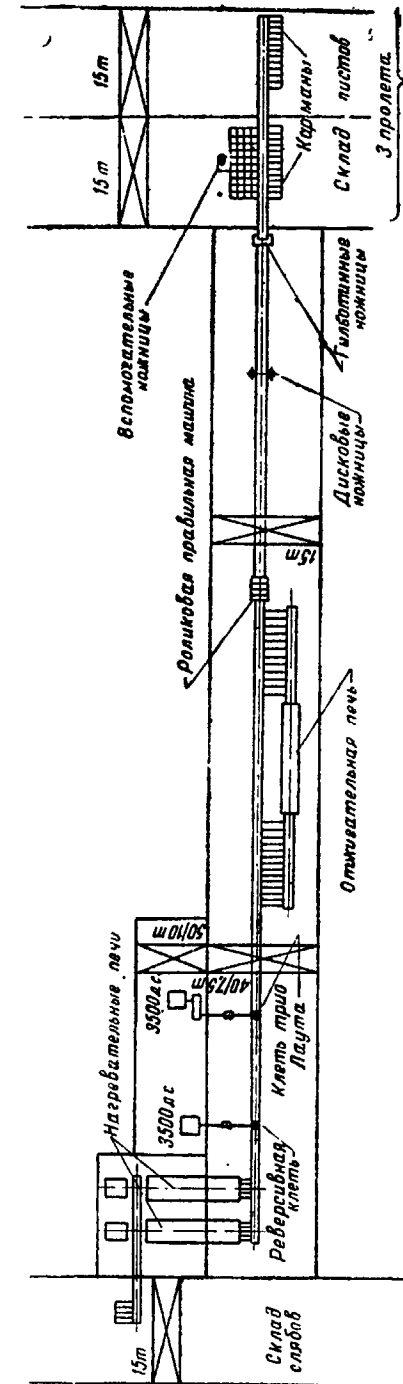


Рис. 223. Расположение толстолистого двухклетьевого стана

Для термической обработки имеется печь, которая включена в общий поток движения листов от стана, причем она расположена таким образом, что листы, не требующие термической обработки, могут быть пропущены мимо нее.

Стан расположен в здании шириной 20 м, длиной около 260 м, обслуживаемом мостовыми кранами 40/7,5 т и 15 т. Склад листов размещается в трех поперечных пролетах, общих с другими станами.

Годовая производительность рассматриваемого стана составляет около 200—250 тыс. т в зависимости от прокатываемого сортамента. Производительность двухклетевых станов другой длины бочки валков изменяется в ту и другую сторону. Так стан 3000—3500 мм имеет производительность до 300—350 тыс. т в год, станы с меньшей длиной бочки, например 2000 мм, могут прокатать до 150 тыс. т в год.

Расположение одноклетьевого толстолистого стана тождественно расположению описанного двухклетьевого. Производительность одноклетьевого стана ниже производительности двухклетьевого примерно на 35—40% в зависимости от длины бочки валков и, следовательно, прокатываемого сортамента. Она колеблется от 60 до 150 тыс. т в год.

## 11. Прокатка универсальной стали

Универсальные станы обычно имеют одну клеть, в которой полоса прокатывается от начала до конца. По конструкции это станы трио или дуо-реверсивные. Такое различие в конструкции станов обусловливается разницей в назначении станом: на универсальных станах трио прокатываются сравнительно узкие и тонкие полосы — минимально до  $80 \times 2,5$  мм, выпускаемые в виде универсальной стали, ленты, сутунки и т. п.; на реверсивных универсальных станах прокатывают преимущественно широкие и толстые полосы и листы. В соответствии с этим исходный материал — слитки и слябы — для реверсивных универсальных станом отличается большими размерами и весом, чем для станом трио. Например, на реверсивных универсальных станах наиболее тяжелые листы (до  $1500 \times 50$  мм) прокатываются из слитков весом до 16 т. Такие тяжелые слитки и слябы целесообразнее прокатывать на реверсивных станах дуо, на которых можно регулировать скорость прокатки в течение одного пропуска и в разных пропусках; первые пропуски необходимо делать с малыми скоростями; по мере увеличения длины и уменьшения толщины раската скорость прокатки должна возрастать. На станах трио применяются слитки значительно меньшего веса, прокатку их необходимо производить быстро; эффективнее это можно выполнять на станах трио.

Реверсивные станы дуо выполняются с горизонтальными валками диам. 610—915 мм. Бочка валков имеет рабочее полотно, длина которого примерно равна наибольшей ширине прокатываемых листов, и два холостых участка, по одному с каждой стороны, в соответствии с необходимостью размещать между станинами вертикальные валки. В некоторых случаях задача размещения вертикальных валков конструктивно решается, как показано на рис. 224. В этом случае бочку горизонтальных валков можно сделать короче, чем в предыдущем. Реверсивные станы обычно имеют две пары вертикальных валков, по одной с каждой стороны. Диаметр валков чаще всего равен 450—600 мм.

Универсальные станы трио выполняются как станы Лаута и как обычные станы трио, т. е. с тремя валками одинакового диаметра. Станы трио имеют одну пару вертикальных валков, располагающихся на выходной стороне.

Вертикальные валки в большинстве случаев приводятся от того же двигателя, что и горизонтальные валки, через шестеренную клеть, которая выполняется пятивалковой. В некоторых случаях вертикальные валки имеют привод от самостоятельного мотора.

Прокатка на стане ведется следующим образом. Слитки или слябы берутся на 25—100 мм шире прокатываемой полосы. В первых пропусках производится значительное обжатие слитка или сляба вертикальными валками для получения назначенной ширины полосы или листа. После этого вертикальные валки только сглаживают кромки, снимая уширение у контактных поверхностей в начальной стадии прокатки и в середине кромок — к концу прокатки. Существенное значение имеет точность установки горизонтальных валков, обеспечивающая одинаковую толщину полосы у обоих краев. При незначительной разнице в этих толщинах полоса выходит из валков искривленной. При охлаждении на стеллажах после прокатки искривление такой полосы продолжается. В этом отношении прокатка на универсальных станах труднее, чем на листовых.

По выходе из стана полосу или лист в горячем состоянии правят в роликовой правильной машине для получения ровной, гладкой поверхности (правка в вертикальной плоскости), а затем — перед поступлением на стеллажи — правят в горизонтальной плоскости путем прижатия полосы к линейке штурвалами. Охлажденные полосы режут ножницами на части требуемой длины, которые отправляют на склад.

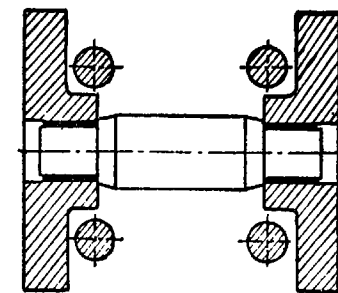


Рис. 224. Расположение вертикальных валков в клетях универсального стана





использовать, в особенности листы больших толщин. На заводах, имеющих обычные тонколистовые станы дуо, такие листы режут на сутунку для прокатки тонких листов.

Изучение причин брака толстых листов показывает насколько важное значение имеет правильная организация производства толстых листов, из отдельных звеньев которой необходимо отметить следующие:

1) правильный подбор размеров и веса слитков и слабов, что, в свою очередь, связано с заказом слитков и слабов, необходимых для выполнения намеченной программы прокатки в течение того или иного отрезка времени;

2) рациональный подбор заказов, обеспечивающий правильный режим прокатки в соответствии с постепенной выработкой валков и с наименьшими изменениями в размерах за смену; комплектование заказов должно производиться по принципу наибольшей однородности размеров подряд прокатываемых листов: чем меньше изменений в размерах, тем лучше обеспечивается ритм прокатки;

3) внимательная работа всего обслуживающего персонала, особенно при разбивке ширины слитка, увязка отдельных звеньев производства и тщательный текущий контроль всех операций.

В организационном отношении листопрокатное производство отличается большой сложностью; оно не имеет такого массового характера, как производство других видов прокатных изделий. Поэтому всякое нарушение процесса производства в каком-либо звене отражается на расходе металла, и только тщательная организация обеспечивает снижение его до минимума.

### 13. Техничко-экономические показатели производства толстых листов

Расход металла на толстолистовых и универсальных станах зависит от двух основных факторов — размеров прокатываемых листов и марки стали. Некоторое влияние оказывает также метод прокатки — из слитков или слабов. В табл. 75 приведены данные о расходе металла на 1 т листов, которые можно принять как средние при прокатке толстых листов и универсальной стали.

Расход электроэнергии главными моторами при прокатке толстых листов с различной степенью удлинения составляет:

Кратность удлинения	Расход электроэнергии квт-ч/т
8	25
12	40
20	55
30	75
50	110

Для моторов вспомогательных механизмов необходимо затратить около 15 квт-ч/т готового продукта.

Таблица 75

Наименование станов и видов прокатываемых листов	Расход слитков: т	Расход слабов: т	Расход слабов, пересчитанных на слитки, т
<b>Станы толстолистовые</b>			
Резервуарная сталь . . . . .	1,30	1,20	1,35
Мостовая . . . . .	1,40	1,20	1,42
Судостроительная сталь углеродистая . . . . .	1,70	1,28	1,60
Судостроительная сталь марганцовистая . . . . .	2,00	1,41	1,90
Котельная и топочная сталь . . . . .	1,85	1,41	1,76
<b>Станы среднелистовые</b>			
Резервуарная сталь . . . . .	1,24	1,18	1,31
Мостовая . . . . .	1,35	1,18	1,40
Судостроительная сталь углеродистая . . . . .	1,60	1,30	1,50
То же, марганцовистая . . . . .	1,70	1,30	1,70
Котельная сталь . . . . .	—	1,36	1,60
<b>Станы универсальные</b>			
Резервуарная сталь . . . . .	1,24	1,12	1,27
Мостовая . . . . .	1,30	1,18	1,40
Заготовка для сварных труб . . . . .	1,10	—	—

Для толстолистовых станов с длиной бочки валков 2500—2800 мм средний расход энергии при прокатке листов разных размеров из слабов можно принять в 50—55 квт-ч/т, включая и вспомогательные механизмы.

Расход воды на толстолистовых и среднелистовых станах колеблется от 10 до 15 м<sup>3</sup>/т листов. Более низкие величины относятся к толстолистовым, более высокие — к среднелистовым станам.

Расход валков составляет от 1,5 до 2,5 кг/т толстых листов. Более низкие величины относятся к толстолистовым станам.

ной промышленности), представляет собой углеродистую горячую или холоднокатаную сталь, химический состав которой приведен в табл. 76 (в %).

Таблица 76

Марка сталей	Углерод	Марганец	Кремний	Сера не более	Фосфор не более	Никель не более	Хром не более
08	0,05—0,12	0,25—0,50	≤ 0,03	0,055	0,040	0,30	0,25
10	0,05—0,15	0,35—0,60	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,25
15	0,10—0,20	0,35—0,60	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30
25	0,20—0,30	0,45—0,70	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30
30	0,25—0,35	0,45—0,70	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30
35	0,30—0,40	0,45—0,70	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30
40	0,35—0,45	0,45—0,70	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30
45	0,40—0,50	0,45—0,70	0,15—0,30	0,055	0,045	0,30	0,30

## ГЛАВА 7

## ПРОКАТКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ. ТОНКИЕ ЛИСТЫ

## 1. Сортамент тонких листов

По размерам. Размеры выпускаемых тонких листов зависят прежде всего от методов производства. В этом отношении все тонкие листы можно разбить на две основные группы: 1) листы, прокатываемые на станах дуо с постоянным направлением вращения валков, и 2) листы, прокатываемые на непрерывных станах.

На тонколистовых станах дуо листы, получаемые путем горячей прокатки, имеют наибольшую ширину 1830 мм и толщину от 0,2 до 3,75 мм. Ширина и толщина связаны таким образом, что листы наименьшей толщины 0,2 мм можно прокатывать с наибольшей шириной 710 мм. С увеличением толщины листа ширина постепенно возрастает, и самые широкие листы можно прокатывать толщиной не менее 3,25 мм. Следует отметить, что граница толщины (3,75 мм) между тонкими и толстыми листами с точки зрения типов станков, применяемых для прокатки их, является чисто условной, так как, с одной стороны, нередко листы толщиной 2,75—3,75 мм прокатываются на станах трио Лаута, с другой, имеют место случаи прокатки на станах дуо листов толщиной до 6 мм.

На непрерывных листовых станах горячей прокатки производятся тонкие листы толщиной от 1,6 до 3,75 мм, с наибольшей шириной 2200 мм. Листы с меньшей толщиной невыгодно прокатывать горячим способом, поэтому дальнейшее уменьшение толщины производится на станах холодной прокатки.

Наименьшая ширина листов обеих групп принимается равной 600 мм. Продукт с шириной ниже 600 мм — лента — выпускается смотанным в рулоны. Однако следует указать, что жесть 710×510 мм иногда прокатывается на станах дуо таким образом, что 510 мм является размером ширины листа.

Длина тонких листов, прокатываемых на станах дуо, обычно равна двойной ширине, т. е. находится в пределах 1200—3660 мм. На непрерывных станах можно получить листы более значительных длин, однако, последние ограничиваются по причинам, зависящим от транспортировки.

По назначению. Конструкционная тонколистовая сталь как материал, применяемый в различных отраслях машиностроения (в частности, в автомобильной и авиацион-

Листы конструкционной стали должны иметь хорошую поверхность и быть вязкими, так как большая часть таких листов применяется для штамповки. Различают нормальную вытяжку (Н. В.), глубокую вытяжку (Г. В.) и весьма глубокую вытяжку (В. Г. В.). В этом отношении приведенные в табл. 76 марки стали делятся таким образом:

В. Г. В. — стали . . . . . 08, 10, 15  
Г. В. — : . . . . . 08, 10, 15, 25, 30, 35  
Н. В. — : . . . . . Всех марок

Штампруемость тонких листов проверяется испытанием на приборе (рис. 226) образцов, вырезанных в виде полосок шириной 70 мм вдоль или поперек всего листа. Пуансон А движется вниз до тех пор, пока в выдавленной лунке не появится трещина, что замечается по уменьшению усилия, показываемого стрелкой на циферблате. Глубина лунки Н характеризует способность листа к вытяжке. В зависимости от толщины листа и марки стали величина Н для конструкционных тонких листов находится в пределах 8—12,1 мм.

Декапированная сталь, или декапир, представляет собой травленный и отожженный лист, имеющий нормальные размеры 1420×710×0,3÷2,0 мм; применяется для изделий, изготавливаемых штамповкой, в частности для посуды.

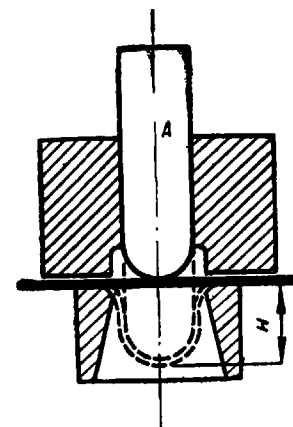


Рис. 226. Прибор для определения штампруемости листов

Кровельное железо прокатывается размерами  $1420 \times 710 \times 0,38 \div 0,82$  мм. Обычно классифицируется по весу одного листа, который находится в пределах 3,0—6,5 кг. Кровельное железо изготавливается без покрытия (так называемое черное кровельное железо) и с покрытием сплавом из свинца и олова.

Жесть белая и черная полированная по ОСТ имеет толщину: палочная 0,21—0,30 мм, крестовая 0,30—0,48 мм.

По ширине и длине —  $710 \times 510$  мм — листы во всех случаях одинаковы.

Электротехническая сталь. Она делится на две основные группы — трансформаторную и динамную, различающиеся по содержанию кремния, которое в трансформаторной стали достигает 4,5%, в динамной не выше 3,5%, и толщиной листа: у трансформаторной стали она равна 0,35—0,50 мм, у динамной 0,5—1,0 мм. По ширине и длине все листы по ОСТ изготавливаются двух размеров —  $2000 \times 1000$  мм и  $1500 \times 750$  мм.

Горячекатаная тонколистовая сталь обычная, широкого применения, в большинстве случаев изготавливается из мягкого металла. Имеет толщину от 0,88 до 3,75 мм, ширину от 600 до 1830 мм и длину от 1200 до 3660 мм. Горячекатаная листовая сталь выпускается нормализованной, отожженной или травленной с отжигом.

## 2. Прокатка тонких листов на станах дуо

Исходный материал. Исходным материалом для прокатки тонких листов на станах дуо служат сутунки или легкие слябы. В некоторых случаях применяются тонкие листы, прокатанные на непрерывных листовых станах и смотанные в рулоны.

Сутунка и легкие слябы прокатываются на непрерывных станах или станах трио и доставляются в листопрокатный цех в виде полос длиной до 10 м, которые затем режутся на специальных ножницах на требуемые длины. Часто сутунка прокатывается на толстолистовых станах в виде листов, которые листовыми ножницами разрезаются на необходимые размеры.

Сутунка на станах дуо прокатывается таким образом, что длина ее образует ширину листа, а длина этого последнего получается за счет увеличения ширины сутунки. Поэтому длина сутунки берется равной ширине листа, умноженной на коэффициент 1,05 для учета обрезки боковых кромок. Ширина и толщина сутунки определяются, исходя из веса сутунки, необходимого для прокатки листа заданных размеров.

Пример. Требуется определить размеры сутунки для прокатки листа  $1420 \times 710 \times 1$  мм. Вычисления ведутся в таком порядке:

1. Вес листа:

$$14,2 \times 7,1 \times 0,01 \times 7,8 = 7,86 \text{ кг.}$$

2. Допустим, что расходный коэффициент, учитывающий потери на обрезки и угар, равен 1,2. Сутунка должна весить:

$$7,86 \times 1,2 = 9,43 \text{ кг.}$$

3. Объем металла сутунки:

$$9,43 : 7,8 = 1,21 \text{ дм}^3.$$

4. Длину сутунки берем:

$$710 \times 1,05 = 750 \text{ мм.}$$

5. Получаем площадь поперечного сечения сутунки:

$$1,21 : 7,5 = 0,161 \text{ дм}^2.$$

6. Размеры сечения сутунки могут быть  $180 \times 9$ ;  $200 \times 8$ ;  $250 \times 6,4$ ;  $300 \times 5,4$  мм.

Большая часть тонких листов, как сказано выше, прокатывается из мягкой стали. Сутунка для прокатки тонких листов обычного качества, кровельного железа и жести может иметь следующий химический состав (в %):

Углерод . . . . .	0,09—0,15
Марганец . . . . .	0,35—0,60
Кремний . . . . .	до 0,03
Фосфор . . . . .	0,05—0,10
Сера . . . . .	0,05 макс.

Для качественных листов химический состав металла сутунки определяется в соответствии с техническими условиями на эти листы.

До подачи в прокатку сутунку необходимо осмотреть для удаления имеющихся на ней дефектов шлифовкой. Сутунку конструкционной стали надо очищать от окалины, так как при прокатке она вдавливается в металл и портит поверхность листов.

Нагрев сутунки. На старых станах дуо для нагрева сутунки применяют методические печи с толкателями или камерные печи. На всех новых станах дуо сутунка нагревается в печах конвейерного типа.

В методических печах с толкателями сутунка при загрузке устанавливается на ребро, а потом в сварочной камере укладывается плашмя для ускорения нагрева. Камерные печи обычно состоят из двух половин, в каждую из которых сутунка загружается на ребро в количестве одной «садки». Камеры работают поочередно таким образом, что в одной происходит нагрев загруженной сутунки, а из другой в это время выдаются на стан нагретые сутунки. Обычно каждая клеть обслуживается такой двухкамерной печью.

Температура нагрева сутунки различна и зависит от ее толщины. Практически для наиболее тонкой сутунки температура нагрева держится в пределах 800—900°, а для более толстой — до 1000°.

Прокатка. Большую часть тонких листов нельзя прокатывать поодиночке, так как при малой толщине и большой поверхности из-за быстрого охлаждения невозможно удовлетворитель-

но закончить процесс. Поэтому прокатку тонких листов в большинстве случаев заканчивают пакетом, образуемым путем складывания нескольких листов. Границей, определяющей необходимость прокатки пакетом, является толщина, близкая к 2 мм. Число листов в пакете чаще всего 2, 4 или 8, реже применяется пакетирование в 3, 6 и 9 листов. Из сказанного следует, что все тонкие листы можно прокатывать следующим образом:

В одиночку:	при толщине в 2	мм и больше
• два листа (парочкой)	•	• 1 •
• четыре листа (четверкой)	•	• 0,5 •
• восемь листов (восьмеркой)	•	• 0,2 •

Листы толщиной ниже 1,6 мм нельзя прокатывать в один нагрев, требуется дополнительный подогрев, листы же толщиной ниже 0,5 мм должны подогреваться дважды.

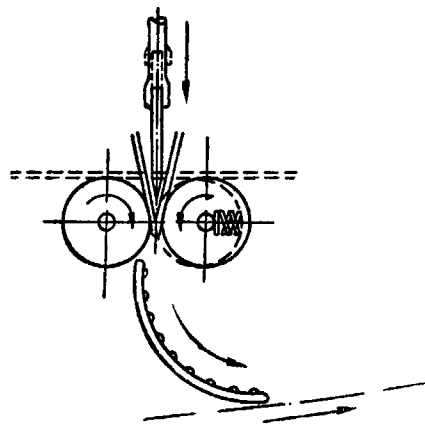


Рис. 227. Дублер

При прокатке листов четверкой и восьмеркой прокатка ведется сначала в одиночку, затем парочкой. Для образования четверки пакет загибают и складывают вплотную. Такая операция называется дублированием и выполняется на специальных дублерах (рис. 227). При прокатке восьмеркой дублирование производится дважды.

В соответствии с изложенным можно наметить следующие схемы прокатки тонких листов на станах дуо:

#### Схема I. Листы толщиной более 2 мм.

1. Нагрев сутунки
2. Прокатка в одну сутунку
3. Резка
4. Отделка

#### Схема II. Листы толщиной 1,6—2 мм.

1. Нагрев сутунки
2. Прокатка парочкой
3. Резка
4. Раздирка
5. Отделка

#### Схема III. Листы толщиной 1,0—1,6 мм.

1. Нагрев сутунки
2. Прокатка парочек в полураскат
3. Нагрев полураскатов
4. Прокатка полураскатов

5. Резка
6. Раздирка
7. Отделка

#### Схема IV. Листы толщиной 0,5—1,0 мм.

1. Нагрев сутунки
2. Прокатка парочек
3. Дублирование
4. Нагрев раскатов
4. Прокатка четверкой
6. Резка
7. Раздирка
8. Отделка

#### Схема V. Листы толщиной ниже 0,5 мм.

1. Нагрев сутунки
2. Прокатка парочкой
3. Дублирование
4. Нагрев полураскатов
5. Прокатка четверкой
6. Вторичное дублирование с обрезкой
7. Нагрев раскатов
8. Прокатка восьмеркой
9. Резка
10. Раздирка
11. Отделка.

Валки. На тонколистовых станах дуо применяются валки из закаленного чугуна диаметром 550—800 мм, длиной бочки 750—2000 мм.

Обычно считается, что на валках с данной длиной бочки можно прокатать листы, максимальная ширина которых на 150 мм меньше длины бочки.

Валки тонколистовых станов не охлаждаются водой, поэтому они разогреваются от соприкосновения с прокатываемым металлом, причем в середине бочки сильнее, чем по краям. Для компенсации разогрева бочка валков делается слегка вогнутой с разностью в диаметрах середины и краев до 0,6 мм. При начале работы на стане после перевалки валки необходимо разогревать для устранения вогнутости. С этой целью прокатывают узкие листы, а затем переходят на нормальную прокатку. В дальнейшем необходимо все время следить за формой валков, о которой вальцовщик обычно судит по виду листов, выходящих из валков. Если середина бочки чрезмерно разогревается и соответственно увеличивается в диаметре, лист вытягивается больше в средней части, если же она нагревается недостаточно, получаются «уши» по краям. Сильный разогрев валков создает также опасность возникновения внутренних трещин в них, вследствие разности в расширении наружных и внутренних слоев. Трещины вызывают неизбежные поломки валков. Поэтому температура поверхности не должна выходить за пределы 300—350°. Для охлаждения валки обдувают паром, приостанавливая на короткое время прокатку. С другой стороны, следует избегать длительных простоев стана, так как они связаны с необходимо-

стью затраты времени и металла на разогрев охладившихся валков.

Для сокращения времени разогрева валков после перевалки применяют специальные электронагревательные приборы, так называемые электропояса (рис. 228), посредством которых вал-

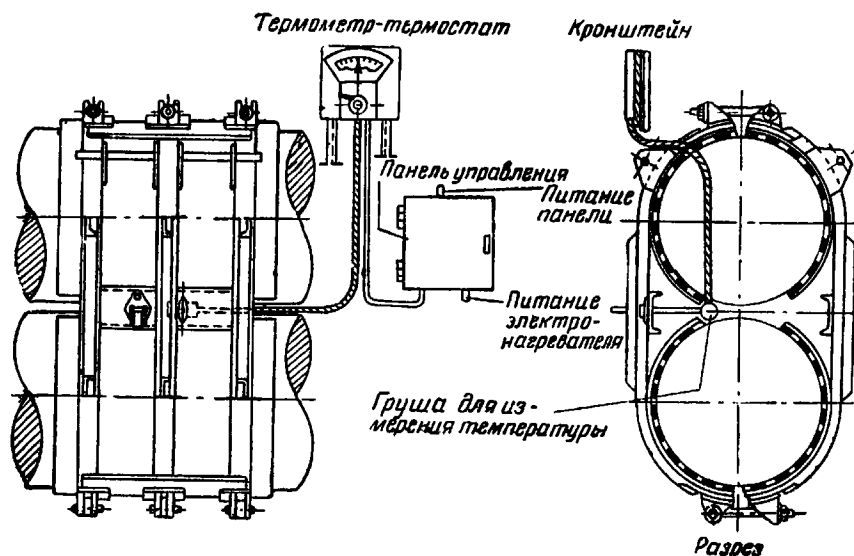


Рис. 228. Электропояс

ки заранее, до перевалки, нагреваются до требуемой температуры. Для этой цели применяют также газовые горелки.

Во время работы к поверхности валков привариваются частицы металла, отрывающиеся от прокатываемых листов. Поэтому необходимо на ходу шлифовать валки камнем вручную или при помощи специального шлифовального устройства, действующего от электромотора.

У большей части тонколистовых станов привод имеют только нижние валки, верхние же вращаются вхолостую трением о нижние валки. Верхний валок не уравнивается, вследствие чего при задаче сутунки или листа подпрыгивает вместе с подушками, которые прижимаются к нажимным винтам; таким путем получается требуемый просвет между валками. Но так можно вести прокатку из сутунки, толщина которой не превышает 20—25 мм; при прокатке же более толстых сутунок верхний валок делается приводным и уравновешенным.

Прокатку на станках дуо ведут таким образом, что все пропуски производятся в одной клетке или в двух клетках поочередно. В последнем случае выделяется одна клетка для черновых пропусков, или, как говорят, для разбивки сутунки. Для этой клетки используются сработанные валки чистовых клеток, кото-

рые обтачиваются на цилиндр без выемки. Такие валки во время прокатки охлаждаются водой, способствующей удалению окалины.

Измерение длины листов. На старых станках длина раската измеряется специальным металлическим прутом, на новых — автоматом, расположенным слева от рабочего стола, против оператора. Флажок, находящийся у заднего стола, при прохождении пакета включает электромагнитную муфту, соединенную со стрелкой указателя, которая приходит в движение. Угол отклонения стрелки пропорционален длине раската.

### 3. Производство листов толщиной 0,88—3,75 мм

**Прокатка.** В эту группу входит наибольшее количество рядового и качественного листа, применяемого в автостроении, авиастроении и др. Листы прокатываются до наибольшей ширины 1830 мм, в соответствии с чем наибольшая длина бочки валков достигает 2000 мм. Обычно каждый стан для прокатки таких листов имеет несколько клеток с разной длиной бочки валков. Например, стан в составе четырех клеток может иметь валки с бочкой в 1000, 1300, 1600 и 2000 мм длиной. Верхний валок делается приводным, так как толщина сутунки достигает 50 мм.

Прокатку можно вести в одной и в двух клетях. В последнем случае сутунка разбивается в черновой клетке, затем раскат по-

Таблица 77

№ пропусков	Толщина раската, мм	Обжатие	
		абсолютное, мм	относительное, %
0	25	—	—
1	20	5	20
2	15	5	25
3	11	4	27
4	8	3	27
5	6	2	25
6	4,5	1,5	25
7	3,3	1,2	26
8	2,8	0,5	15
9	2,5	0,3	11,0
10	2,5	—	—

догревается вторично и после этого отделяется в чистовой клетке. Прокатка в двух клетях дает возможность получить лучшую поверхность, чем прокатка в одной клетке, что очень важно при прокатке листов конструкционной стали. Наибольшее обжатие при прокатке листов этой группы достигает 30—45% за пропуск, в зависимости от ширины листа. В табл. 77 приведена схе-

ма прокатки листа  $2800 \times 1400 \times 2,5$  мм из сутунки  $1470 \times 320 \times 25$  мм весом 92 кг. Прокатка в рассматриваемом случае ведется в один нагрев и в одну сутунку. В табл. 78 приведена схема прокатки листа  $2000 \times 1000 \times 1$  мм из сутунки  $1050 \times 200 \times 14$  мм парочкой в два нагрева. В первых четырех пропусках прокатка производится по одной сутунке, затем раскаты укладывают в парочку и прокатывают за два пропуска до толщины каждого листа в 1,4 мм. Далее парочка поступает в нагревательную печь для подогрева, после которого за 4 пропуска окончательно прокатывается до толщины в 1 мм.

Таблица 78

№ пропусков	Толщина раската, мм	Обжатие	
		абсолютное, мм	относительное, %
0	14	—	—
1	9	5	36
2	6	3	33
3	4	2	33
4	2,5	1,5	38
5	3,6	1,4	28
6	2,8	0,8	22
7	2,4	0,4	14
8	2,1	0,3	12,5
9	2,0	0,1	4,8
10	2,0	—	—

Отделка. Прокатка тонких листов заканчивается обычно при температуре  $600-800^\circ$ , т. е. значительно ниже точки  $A_3$ . Поэтому металл получается с мелкими вытянутыми ферритовыми и перлитовыми зернами. Кроме того, при прокатке пакетов листы в отдельных местах свариваются. Наконец, как и в случае прокатки толстых листов, поверхность листа получается неровной и с неправильным очертанием контура. В соответствии с этим все листы проходят следующие отделочные операции:

1. Резку
2. Раздирку (при прокатке листов парочкой, четверкой и восьмеркой)
3. Правку
4. Отжиг.

Некоторая же часть листов для получения надлежащих качеств проходит еще ряд дополнительных отделочных операций: травление, холодную прокатку и дрессировку.

Первые три операции просты, поэтому их можно не рассматривать особо. Следует только отметить, что раздирка до сих пор производится вручную — клещами при слабой сварке и тупыми саблями при более сильном приваривании.

Отжиг. Различают открытый и закрытый отжиг. Открытый отжиг, или нормализацию, проходят обычно листы толщиной

в 1 мм и выше, применяемые для глубокой вытяжки. Он производится в специальных нормализационных печах длиной от 30 до 60 м, имеющих три зоны: 1) нагревательную, 2) выдержки, или томления, и 3) охлаждения. Длина каждой зоны в процентах от общей длины составляет примерно 50, 20 и 30 соответственно. Листы загружаются в печь по одному, два или три, в зависимости от толщины, затем последовательно проходят через три зоны. Характер изменения температуры печи и листа в каждой зоне показан на рис. 229. В первой зоне температура

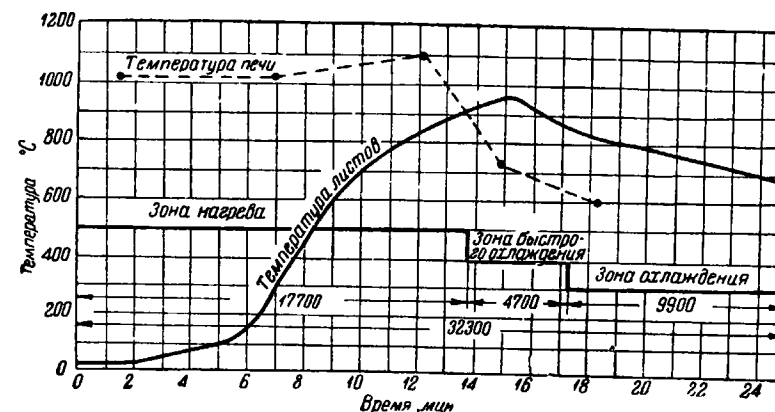


Рис. 229. Изменение температуры в нормализационной печи

печи равномерно повышается с  $400$  до  $1000^\circ$ . Температура  $1000-1100^\circ$  поддерживается на всем протяжении зоны выдержки. Далее температура падает, сначала резко до  $700^\circ$ , затем постепенно — до  $600^\circ$ . В соответствии с этим лист нагревается до температуры около  $900^\circ$ , т. е. несколько выше критической точки  $A_3$ , затем быстро охлаждается до температуры  $650^\circ$  (ниже критической точки  $A_1$ ), после чего охлаждается медленно в печи до температуры  $450^\circ$  и выдается на воздух.

Современные нормализационные печи проектируются по типу непрерывных печей. На рис. 230 изображена печь, которая имеет под, составленный из вращающихся роликов с дисками. Внутри ролики охлаждаются водой. Печь обогревается газом или нефтью. В конце томильной зоны имеется кирпичная заслонка, которая ограничивает прохождение газов в зону охлаждения. Ролики выходят на переднюю сторону для загрузки листов и на заднюю сторону для выдачи их. Во избежание царапин от дисков листы, подвергаемые нормализации, укладываются на бракованные листы, служащие поддонами. Печь оборудуется контрольно-измерительной аппаратурой для регулирования процесса. За печью устанавливается роликовая правильная машина для правки листов, которые коробятся при прохождении через печь.

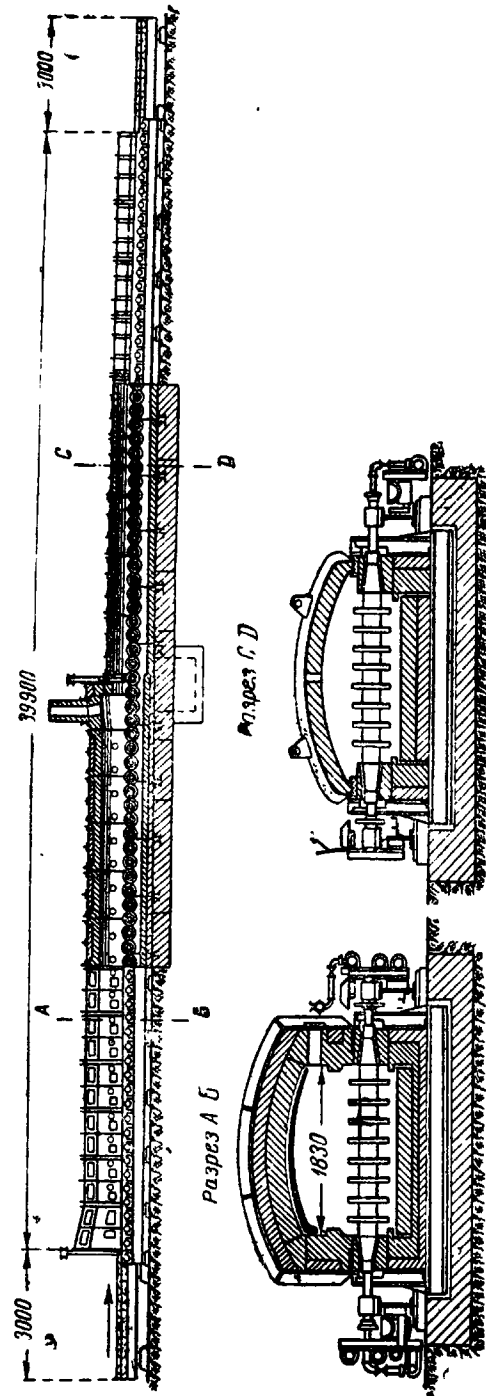


Рис. 230. Нормализационная печь

В некоторых случаях листы после первого быстрого охлаждения укладывают в пачки, в которых они медленно остывают.

В процессе нормализации происходит рекристаллизация и перекристаллизация зерен с образованием новой структуры. В результате получается металл вязкий и свободный от внутренних напряжений. Благодаря тому, что в этом процессе листы проходят через печь по одному или максимум по три, обработка их производится достаточно ровно, и все листы выходят практически с одинаковыми свойствами.

Закр<sup>т</sup>ый отжиг производится в стопах весом от 8 до 20 т, уложенных на поддон и накрытых колпаком. Различают два вида закрытого отжига — черный и светлый.

Черный отжиг применяется для устранения внутренних напряжений после прокатки, для изменения структуры и величины зерна, чтобы получить в результате металл достаточно мягкий и тягучий. Пределы температур черного отжига 720—760°.

Светлый отжиг, или вторичный, как его часто называют, применяется для обработки листов, прокатанных в холодном состоянии, с более или менее значительной деформацией и получивших наклеп. Задача светлого отжига заключается в устранении наклепа, причем предполагается, что до холодной прокатки листы уже подвергались термической обработке. Температурные пределы светлого отжига 550—650°.

Для закрытого отжига применяются печи трех основных типов — камерные, туннельные и колпаковые. Камерные печи строятся с одной или с двумя камерами; в каждую камеру помещается по одному ящику.

Листы укладывают в стопу высотой 500—1000 мм на стальной поддон и накрывают стальным колпаком, вокруг которого снизу насыпается песок, чтобы воздух не проникал под колпак. Полной герметичности таким путем осуществить, однако, не удастся, и некоторое количество воздуха все же под колпак проникает. В современных отжигательных цехах все камерные печи размещаются в один ряд, и для посадки и выемки поддонов с ящиками применяются специальные садочные машины. Процесс отжига разделяется на три периода — нагрев, томление и охлаждение. Первый период длится 12—18 час. в зависимости от веса садки. К концу первого периода между температурами низа и верха стопы имеется еще разница в 200—250°. Второй период — томление — длится 6—10 час.; в течение этого времени температура стопы выравнивается, однако, практически период томления заканчивается при разнице температур низа и верха стопы в 50°. По окончании второго периода ящик вынимают из печи и помещают на воздухе. Охлаждение, в свою очередь, делится на две стадии: в течение первой листы остывают вместе с колпаком до температуры примерно 150°, в течение второй стопа листов при снятом колпаке остывает непосредственно на воздухе. Такой порядок охлаждения принят, чтобы обеспечить медленное и ров-

ное остывание листов, чего нельзя было бы достигнуть, сразу сняв колпак. При медленном остывании получается необходимая структура и соответствующие механические свойства. Кроме того, во время охлаждения с колпаком листы защищены от непосредственного окисляющего влияния наружного воздуха.

Однако, как уже отмечалось выше, достигнуть полной изоляции листов от воздействия кислорода воздуха невозможно. Во-первых, часть воздуха остается под колпаком, накрывающим поддон, во-вторых, некоторое количество воздуха проникает под колпак сквозь песок, главным образом, во время охлаждения. Из-за этого поверхность листов частично окисляется и обезуглероживается. Действие кислорода сказывается на кромках листов, в большей степени на верхних из них. После отжига поверхность листов около кромок имеет синий цвет, к середине переходящий в желтый и светлосерый. Чтобы получить листы с неокисленной поверхностью, ведут отжиг с дезоксидацией: под колпак вводят по трубе газ, для выработки которого строится специальная установка. Давление газа под колпаком поддерживается несколько выше атмосферного. В одних случаях газ вводится под колпак только во время охлаждения, в других — во время нахождения колпака в печи и в период охлаждения.

Продолжительность остывания листов с колпаком и без него составляет 48—72 часа, а вместе с временем отжига равна 72—96 часам.

В туннельных печах (рис. 231) отжиг протекает непрерывно. В этих печах, как и в нормализационных, имеются три зоны — нагрева, томления и охлаждения. В первой зоне температура в печи повышается с 250 до 850°, во второй — до 1000° и к концу третьей зоны снижается до 200—250°. Печь обогревается газом посредством горелок, расположенных с обеих сторон печи. В третью зону вводится вентиляторный воздух, чтобы ускорить охлаждение. Поддоны со стопами листов, накрытых колпаками, передвигаются на шарах или на вагонетках по рельсам толкателем, подающим сразу все вагонетки, число которых в большинстве случаев равно 20—24 при длине печи 40—50 м. Продолжительность отжига 40—48 час., включая время нахождения металла во всех трех зонах. Производительность печи 80—100 т в сутки. Как и в камерных печах, результаты отжига получаются несколько различные по высоте стопы.

К отжигательным печам новейшего типа относятся колпаковые печи (рис. 232), которые получили уже довольно значительное распространение. Стопа листов укладывается на стационарный постамент из огнеупорной кладки и накрывается муфелем из волнистой жароупорной стали. Внизу у поддона муфеля имеет песочный затвор. Над муфелем устанавливается металлический колпак с огнеупорной кладкой и жароупорными трубами, которые располагаются у продольных стен колпака. К одному концу труб подводят газ и воздух, другой конец свободно выходит в здание

цеха. Трубы являются камерами для сжигания топлива, а муфель с листами обогревается за счет радиации. По окончании периода томления подвод газа и воздуха прекращается, наружный колпак снимается и переносится на другой постамент, а стопа листов

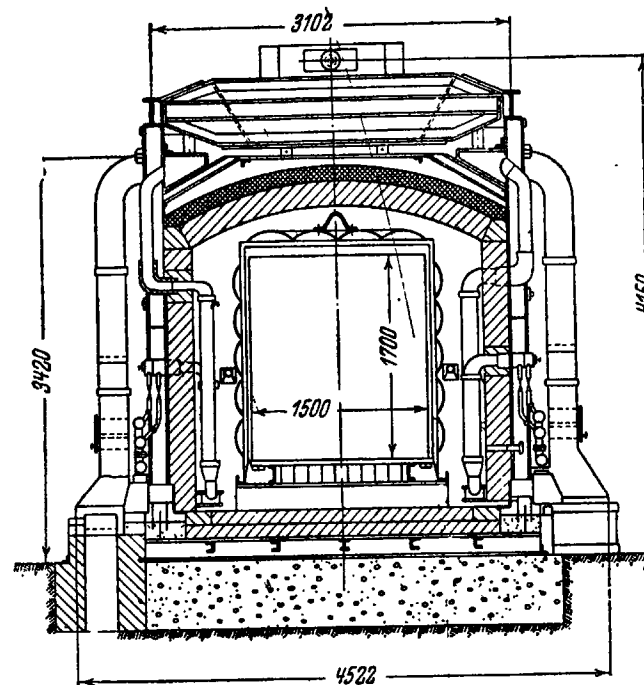


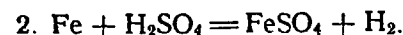
Рис. 232. Колпаковая печь

с внутренним колпаком охлаждается до 150° при непрерывной подаче газа.

Травление. Окалина, образующаяся при окислении поверхности тонких листов во время нагрева, горячей прокатки, отжига, должна быть удалена путем травления в растворе кислоты в следующих случаях:

- 1) перед холодной прокаткой листов, чтобы окалина не была плотно вдавлена при обжатии;
- 2) при выпуске горячекатаных листов для холодной штамповки (декапированный лист);
- 3) при производстве листов с различными покрытиями.

В большинстве случаев травление производится в растворе серной кислоты, действие которой протекает по двум основным реакциям:





В первой реакции кислота действует на окисел железа с образованием железного купороса, во второй — действию кислоты подвергается непосредственно железо, причем выделяются железный купорос и водород; последний поглощается сталью и способствует образованию пузырей. Концентрация кислоты в растворе от 4 до 10%. Продолжительность операции травления различна и зависит от трех основных факторов: 1) толщины листа, 2) концентрации травильного раствора, 3) температуры ванны. Практически продолжительность травления составляет 10—30 мин. Температура ванны поддерживается на уровне 80—90° путем обогрева паром. После травления листы промываются в проточной воде.

На рис. 233 показана травильная машина плунжерного типа. Она имеет внизу паровой цилиндр, шток поршня которого соеди-

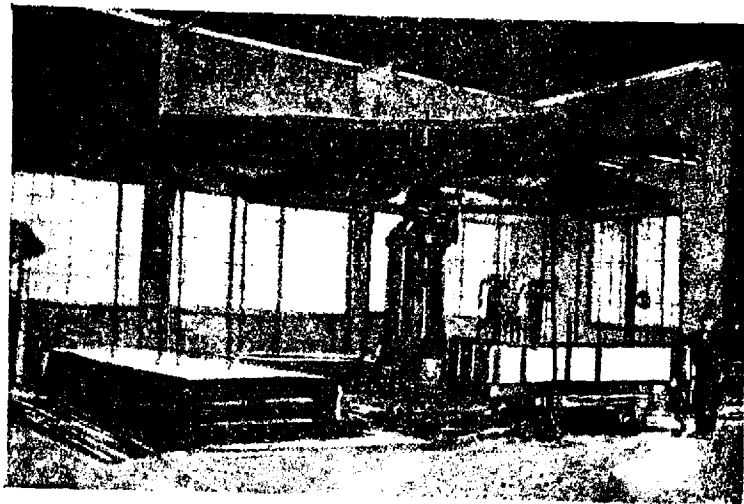


Рис. 233. Травильная машина плунжерного типа

няется с плунжером, несущим три коромысла. К последним подвешиваются корзины из кислотоупорного материала — фосфористой бронзы или монель-металла. Листы для травления устанавливаются в корзине на ребро с промежутками, что облегчает обмывание их жидкостью. Имеются две ванны — травильная и промывная. Процесс протекает в следующем порядке. В одной корзине собирают листы для травления, в другой листы травят и в третьей промывают водой. Во время травления и промывки корзины встряхивают, для чего резко поднимают и опускают поршень в цилиндре. По окончании операции травления во второй корзине машину поворачивают на 120° по горизонтали и корзины меняют свое положение: в первой корзине листы травятся, во второй промываются, третья корзина поступает в разборку и сборку. Ма-

шина имеет две остановки — для навешивания первой и снятия третьей корзины.

После травления и промывки листы получаются влажными. Для предупреждения образования ржавчины листы сушат на специальных машинах.

Холодная прокатка. Тонкие листы подвергаются холодной прокатке в целях: 1) уменьшения толщины горячекатаного листа до требуемых окончательных размеров, 2) повышения точности размеров листа по толщине, 3) улучшения качества поверхности листа, 4) увеличения жесткости листа, что требуется во многих случаях.

В соответствии с назначением холодной прокатки величина общего обжатия тонких листов варьирует в широких пределах — от 3 до 50% и выше.

В зависимости от той или иной величины обжатия выбирается и тип стана для холодной прокатки. Вообще применяются станы четырех типов — дуо, трио, кварто и шестивалковые. Наибольшая величина обжатия, которую можно получить на станах разного типа, такова: стан дуо—5%, трио Лаута—30%, кварто—50—60%.

Учитывая последующую холодную прокатку, листы после горячей прокатки должны иметь размеры, отличающиеся от заданных окончательных: толщину и ширину большую, длину — меньшую.

На станах дуо и кварто прокатка ведется таким образом, что на переднюю сторону подается стопа листов, которые задаются в валки поодиночке, один за другим. Если необходимы еще следующие пропуски, то стопу листов переносят краном с задней стороны на переднюю. На станах трио Лаута листы прокатывают в обоих направлениях поодиночке до получения окончательных размеров.

Часто на станах дуо горячей прокатки длина листов получается очень близкой к окончательной, и при холодной прокатке дается обжатие всего в 1—3% с целью улучшения поверхности, имеющей после горячей прокатки и травления много пор и неровностей. В соответствии с этим для холодной прокатки таких листов применяются почти исключительно станы дуо. В результате холодной прокатки поверхность листов улучшается и делается достаточно плотной и гладкой.

Порядок отделочных операций здесь таков: 1) горячая прокатка, 2) резка, 3) травление, 4) холодная прокатка, 5) нормализация, 6) травление вторичное, 7) правка, 8) промасливание и упаковка. Листы могут не проходить отжига перед холодной прокаткой, так как величина деформации при холодной прокатке невелика. Такой порядок операций имеет место при получении листов с полированной поверхностью. Если же листы должны иметь матовую поверхность, то после травления дается один пропуск в стане холодной прокатки, затем листы подвергаются закрытому отжигу, правке и промасливанию.

При прокатке с более высокими обжатиями, производимой на

станах трио Лаута и кварто, порядок операций иной: 1) горячая прокатка до 30—75% от окончательной длины, 2) нормализация, 3) травление, 4) холодная прокатка, 5) отжиг с дезоксидацией, 6) резка, 7) дрессировка.

Приведенные схемы операций являются только примерными, для листов различных спецификаций схемы могут варьировать в широких пределах.

#### 4. Производство жести

Прокатка жести на станах дуо производится по схеме V, приведенной на стр. 367, т. е. восьмерками, в три нагрева и с двойным дублированием. Для прокатки палочной жести  $710 \times 510$  мм средней толщиной 0,27 мм берется сутунка  $740 \times 200 \times 10$  мм. При ширине 710 мм окончательная длина прокатанного листа в обрезанном виде получается равной 1530 мм, т. е. из одного листа получается три карточки  $710 \times 510$  мм. В процессе прокатки лист дважды дублируется, т. е. складывается в конечном итоге четверо, следовательно, из одной сутунки получается 12 карточек. Прокатка ведется по следующей схеме: из печи выдаются две сутунки, которые по одной за 4 пропуска доводятся до толщины около 2,25 мм, после чего складываются и парой вновь прокатываются за три пропуска до той же общей толщины 2,25 мм; далее производятся дублирование, нагрев и прокатка четверкой опять до толщины 2,25 мм за три пропуска, затем второе дублирование с обрезкой, нагрев и прокатка восьмеркой за 4 пропуска до общей толщины 2,16 мм ( $8 \times 0,27$ ).

Станы дуо для прокатки жести в большинстве случаев имеют 6 клеток с валками размером  $\varnothing 700 \times 900$  мм; клетки расположены с двух сторон двигателя мощностью 1500 л. с. Каждые три клетки представляют собой комплект из одной черновой и двух чистовых клеток.

Отделка жести включает следующие операции: 1) резку, 2) раздирку пакетов, 3) первое травление, 4) первый отжиг, 5) холодную прокатку, 6) второй (белый) отжиг, 7) второе (белое) травление, 8) лужение, 9) сортировку, 10) упаковку.

Все операции, производимые до лужения, уже известны, поэтому о них достаточно сказать только следующее. Холодная прокатка производится на стане дуо, состоящем из трех клеток. Обжатие составляет всего 5%, так как основная цель холодной прокатки — улучшение поверхности для последующего лужения. Для этого предусмотрено также белое травление, которое длится меньше времени, чем первое, так как количество окислов на поверхности в этом случае относительно невелико. Листы, выпущенные после второго отжига, называются черной жстью.

Лужение. В настоящее время применяются два метода лужения листов: 1) погружением в расплавленное олово и 2) электролитическим путем. Последний метод получил развитие только

с 1942 г. в связи с недостатком олова во время последней войны. Он применяется почти исключительно для лужения листов, полученных в виде рулонов на непрерывных станах горячей и холодной прокатки.

Жесть, прокатанная на обыкновенных станах дуо, за небольшими исключениями, лудится методом погружения. Этот метод включает следующие операции (рис. 234):

1. Удаление с поверхности листа влаги и грязи путем пропуска его через ванну с горячим хлористым цинком.

2. Лужение поверхности листа при пропуске его через ванну с расплавленным оловом, имеющим температуру при входе листа  $315^\circ$ , а при выходе —  $260^\circ$ .

3. Пропуск листа через пальмовое масло, которое плавает на поверхности олова и имеет температуру около  $245^\circ$ , благодаря чему олово находится в расплавленном состоянии (температура плавления олова  $233^\circ$ ) и растекается по поверхности листа. В масляной ванне лист проходит через три пары валков; в них отжимается избыточное олово, чем достигается равномерное и гладкое покрытие с количеством олова, требуемым техническими условиями. Кроме того, масло, покрывающее лист тонким слоем, предохраняет олово от окисления на воздухе, легко обнаруживаемого по желтым пятнам на поверхности листа.

4. Пропуск листов через полировочные валки для удаления масла и окончательной полировки поверхности.

После лужения листы сортируют по состоянию поверхности и толщине покрытия оловом. Кроме того, жесть подвергается механическим испытаниям на штампуемость и проверяется на количество олова в покрытии.

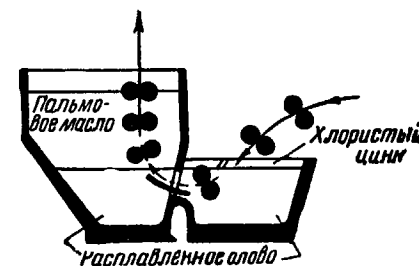


Рис. 234. Схема лудильного аппарата

#### 5. Механизация тонколистовых станов дуо

Осуществление идеи механизации тонколистовых станов дуо относится к двадцатым годам текущего столетия, когда были достигнуты значительные усовершенствования в постройке электромоторов с большим числом переключений и в автоматическом управлении механизмами. На механизированных станах прокатываются тонкие листы всех размеров.

Сутунка для прокатки на механизированных тонколистовых станах нагревается в печах с шагающим подом, роликовым подом или в конвейерных. Печи с конвейерным подом следует предпочесть другим, так как они проще по конструкции и дешевле. Схе-

ма устройства конвейерной печи показана на рис. 235. Сутунка передвигается пальцами, имеющимися на бесконечной цепи, приводимой в движение от электромотора. Печь отапливается газом через форсунки, расположенные в трех местах. Сутунка располагается плашмя, поэтому нагревается очень быстро, в течение нескольких минут. В таких же печах нагреваются и раскаты. Обычно каждая клеть имеет отдельную печь длиной от 16 до 30 м. Черновая прокатка сутунок производится на станах трио Лаута. Стан дуо в механизированных установках для этой операции

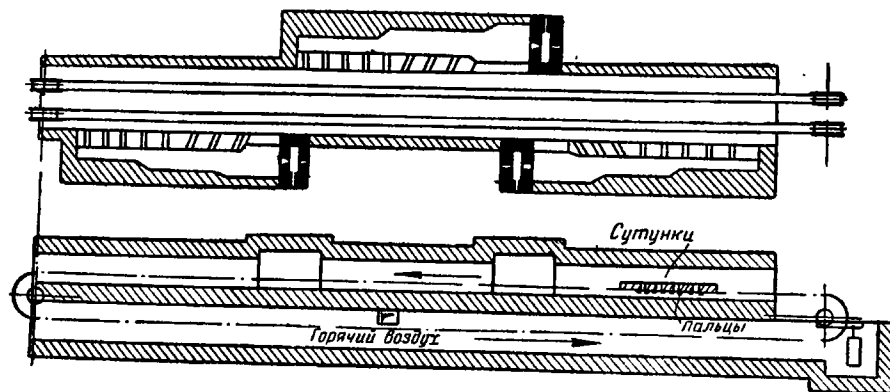


Рис. 235. Нагревательная печь конвейерного типа

не подходит, так как подъемный стол находится на сравнительно большом расстоянии от валков и сутунка проваливалась бы в промежуток между валками и столом. На стане трио Лаута, благодаря меньшему диаметру среднего валка, можно прокатывать сутунку с минимальной шириной 180 мм. В большинстве случаев комплектная установка механизированного стана для прокатки листов из сутунки или из легких слябов состоит из одной клетки трио Лаута для черновой прокатки и двух клеток дуо для окончательной прокатки.

Размеры валков клетки трио Лаута таковы: диаметр верхнего и нижнего валков 800—900 мм, диаметр среднего валка 450—550 мм, длина бочки 1000—2000 мм.

Валки изготавливаются из легированного чугуна или из легированной стали.

Привод валков осуществляется через шестеренную клетку или без нее. В первом случае и верхний и нижний валки являются приводными, причем средний и верхний валки делаются уравновешенными. Во втором случае приводным является только нижний валок, а остальные два вращаются за счет трения. В этом случае средний и верхний валки выполняются без уравновешивания. Привод первого типа применяется для прокатки сутунки толщиной 6 мм и больше, второй — для прокатки сутунки толщиной ме-

нее 6 мм. Перемещение нажимных винтов в обоих случаях производится от двух электромоторов.

Число пропусков в клетку трио обычно находится в пределах 3—7, в зависимости от условий прокатки, причем раскат ведется как поодиночке, так и парочками. Обжатия составляют около 25% в среднем за пропуск. Расчетная производительность одной клетки трио составляет 1800 пар сутунок за 8 часов.

Клетка трио оборудуется с обеих сторон качающимися столами с движущимися цепями и боковыми линейками для выравнивания

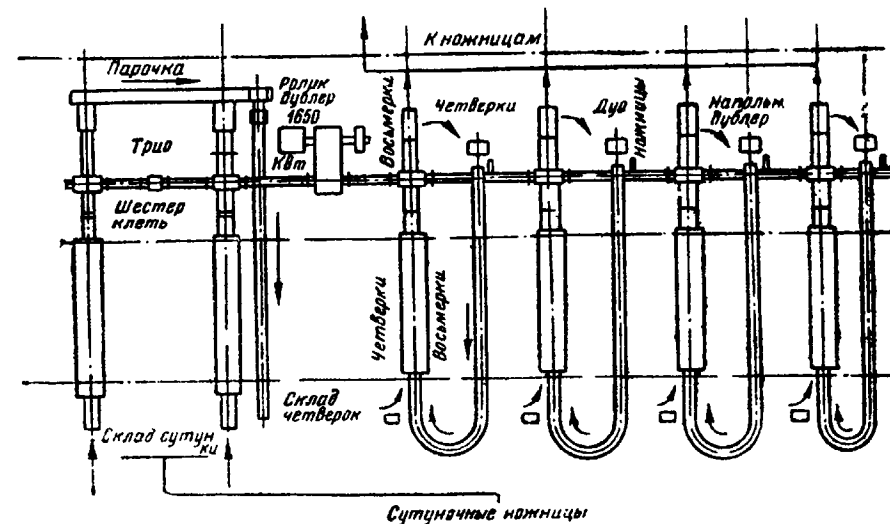


Рис. 236. Расположение механизированного тонколистового стана дуо

пакета и правильной задачи его в валки. С задней стороны стол имеет тянущие ролики для передачи пакетов на конвейер, который направляет их в подогревательную печь. По пути движения располагается дублер для сдваивания пакетов. Передняя сторона стана связана конвейером с нагревательной печью. Общее расположение стана показано на рис. 236. Процесс на стане протекает следующим образом. Сутунки нагреваются в конвейерной печи и по две выдаются из нее на конвейер, доставляющий их к клетке трио. По окончании прокатки в этой клетке раскат, если, нужно, дублируется и направляется по конвейеру к одной из двух подогревательных печей, откуда также по конвейеру поступает для окончательной прокатки в клетку дуо. Если на стане прокатывается жест, то сначала прокатка ведется четверкой, а затем — восьмеркой. В соответствии с этим около каждой чистовой клетки располагается дублер.

Чистовые клетки, как и клетки трио, оборудуются автоматическими качающимися столами.

Из приведенного описания видно, что все операции по нагреву и прокатке тонких листов на таких станах полностью механизированы и роль людей сводится к управлению механизмами.

Годовая производительность механизированных тонколистовых станов из трех клеток составляет от 25 до 60 тыс. т в зависимости от размеров прокатываемых листов, превышая вдвое ту, которая получается на станах с ручным обслуживанием.

Невзирая, однако, на такие большие достижения в механизации процесса прокатки на тонколистовых станах дуо, применение их вскоре значительно сократилось, так как они должны были уступить место быстро развившимся непрерывным листовым станам.

## 6. Прокатка листов на непрерывных станах

Развитие непрерывных листовых станов. Первый непрерывный листовой стан был построен в 1892 г. Однако, как этот стан, так и два других, построенных впоследствии, не могли оказать заметного влияния на развитие непрерывной прокатки листов. Поэтому датой начала развития непрерывных листовых станов считается 1924 г., когда был введен в действие стан, работающий до настоящего времени.

Развитие непрерывных станов совершенно изменило технологию производства листов почти всех толщин, до 38 мм включительно. В большинстве же случаев на этих станах прокатываются листы от 6 мм и ниже. Во всяком случае современные методы производства и толстых и тонких листов на непрерывных станах в значительной мере объединяются в части горячей прокатки. Только наиболее толстые листы ( $> 28$  мм) прокатываются исключительно на станах трио Лаута и кварто одноклетевых и двухклетевых.

Развитие непрерывных листовых станов шло с постепенным увеличением ширины прокатываемых на них листов. До 1931 г. наибольшая длина бочки валков таких станов равнялась 1525 мм; в дальнейшем она была увеличена до 2540 мм.

Наряду с непрерывными станами горячей прокатки широкое развитие получили станы холодной прокатки, составляя с первыми единый комплекс агрегатов для производства тонких листов.

Сортамент листов, прокатываемых на непрерывных станах. По виду выпускаемых листов все непрерывные станы можно разделить на следующие группы:

1) наиболее многочисленную группу станов, прокатывающих автомобильный лист в полосах и рулонах для дальнейшей холодной прокатки;

2) станы, прокатывающие преимущественно подкат в рулонах для холодной прокатки жести;

3) станы для прокатки широкой ленты наибольшей ширины 815 мм;

4) станы для прокатки широких и толстых листов толщиной до 28 мм в виде полос, разрезаемых в дальнейшем на мерные длины.

Сортамент листов, выпускаемых всеми этими станами, охватывает ширину от 600 до 2200 мм, толщину от 1,25 до 28 мм.

Листы этих толщин получают после горячей прокатки. После дальнейшей холодной прокатки получают листы наименьшей толщины в 0,20 мм.

По длине различают: 1) листы в полосах, которые получают после прокатки максимальной длиной до 60—70 м, и 2) листы в рулонах, общая длина которых достигает значительной величины, в зависимости от веса прокатываемых слябов.

Исходный материал. На непрерывных станах листы прокатываются исключительно из слябов, размеры которых колеблются в широких пределах. Наибольшая длина слябов зависит от ширины применяемых нагревательных печей и достигает 5,5 м, наименьшая 1800 мм. Ширина слябов для большинства станов находится в пределах 650—1600 мм. Толщина слябов в большинстве случаев равна 100—200 мм, но на отдельных станах прокатываются слябы и меньшей (до 65 мм) и большей (до 250 мм) толщины.

Печи для нагрева слябов строятся трехзонные с нижним подогревом, с рекуператорами для подогрева воздуха до 350—450°. Наибольшая длина печей достигает 30 м, наибольшая ширина 8,5 м. Печи отапливаются смешанным, коксовым или натуральным газом и нефтью. Нормальная часовая производительность печей при холодном всаде 50—100 т. Большая часть станов имеет по три таких печи.

Типы станов, их расположение. По количеству и составу клеток непрерывные листовые станы разделяются на две основные группы:

1. Первая группа (рис. 237а) в черновой части имеет четыре клетки дуо или кварто с вертикальными валками и окалиноломателем, причем клетки дуо применяются в станах с короткой бочкой валков. Чистовая часть состоит из 5—6 клеток кварто и окалиноломателя. Между черновыми и чистовыми клетями имеется разрыв, и полоса из последней черновой клетки целиком выходит на промежуточный рольганг.

Вторая группа (рис. 237б) в черновой части имеет универсальную клеть трио или кварто и в чистовой части 4—6 клеток кварто. Для сбивки окалины имеются два окалиноломателя. Расположение станов первой группы с шестью чистовыми клетями считается типовым; по конструкции все клетки выполняются как кварто.

Валки. Выше уже было сказано, что наибольшая длина бочки валков в непрерывных листовых станах достигает 2540 мм. Наименьшая длина бочки валков, которая встречается на таких станах, — 760 мм. Соотношение между длиной бочки валков  $L$  и мак-

симальной шириной прокатываемых листов  $B$  принимается по формуле:

$$L \approx 1,1 B.$$

Таким образом, на бочке валков длиной 760 мм, можно прокатать листы до наибольшей ширины около 700 мм. Исходя из этого, станы с более короткой бочкой валков относят уже к группе ленточных.

Диаметр опорных валков для большинства станов равен 0,5 — 0,7 длины бочки валков, в некоторых же станах это соотношение превышает единицу. Диаметр рабочих валков составляет около половины диаметра опорных валков.

Рабочие валки изготавливаются из закаленного чугуна, опорные — из ковanej стали. В черновых клетях бочка валков делается цилиндрической, в чистовых — вогнутой.

Метод прокатки. На непрерывных станах прокатывают листы до наибольшей ширины 2200 мм. Слябы же имеют ширину в большинстве случаев до 1200—1350 мм, и только на ограниченном числе установок можно выпускать слябы шириной до 1600 мм.

В зависимости от соотношения между ширинами листов и слябов применяют два метода прокатки. Первый метод применяется

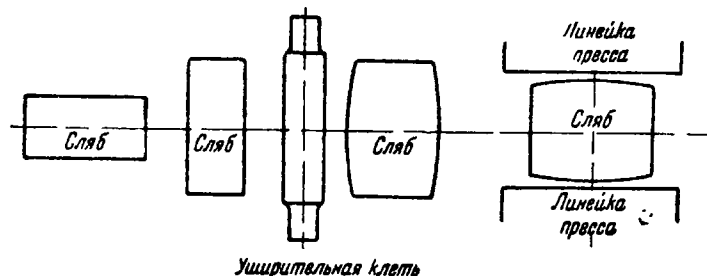


Рис. 238. Порядок операций при прокатке в уширительной клетке

для прокатки листов, лишь немногим уже слябов. В этом случае сляб прокатывается «на прямую», без поворота на 90° в горизонтальной плоскости для поперечной раскатки в ширину. Вторым методом применяется при прокатке листов, ширина которых значительно превышает ширину слябов. В этом случае для получения нужной ширины листа сляб вначале прокатывается поперек в первой клетке, которая называется уширительной. Это — клеть кварто с наибольшей длиной бочки валков 3300 мм. Порядок операций при прокатке в уширительной клетке следующий (рис. 238).

1. Сляб поворачивается на 90° посредством специального приспособления, которое производит также подъем сляба на небольшую высоту до поворота и опускание после поворота.

2. Длина сляба сравнительно невелика, поэтому задача его в валки производится специальным толкателем.

3. По выходе из стана сляб снова поворачивается на 90° в горизонтальной плоскости.

4. После прокатки в уширительной клетке сляб получается с выпуклыми концами, которые после вторичного поворота на 90° становятся боками, поэтому за клетью располагается пресс с линейками для сжатия сляба с целью выравнивания боковых кромок. Чтобы сляб при сжатии не коробился, он прижимается сверху специальным механизмом.

Наибольшее обжатие в уширительной клетке достигает 40%.

Общая схема процесса прокатки на непрерывных листовых станах. Сляб нагревается до температуры около 1180° и выходит из печей, покрытый слоем окалины. Поэтому первой операцией при прокатке является удаление окалины, чтобы она не могла быть закатана в металл, в соответствии с чем первая клеть стана представляет собой окатиноломатель с валками дуо диаметром около 600 мм. Обжатие в первой клетке дается в 5 — 15%, чтобы окалина могла быть раздроблена, после чего она смывается водой под высоким давлением (70—90 ат).

По выходе из окатиноломателя сляб поступает в уширительную клеть, в которой раскатывается в ширину, если это нужно, или «на прямую», если операции по уширению отпадают. Перед следующими тремя черновыми клетями имеются вертикальные валки для обжатия боковых кромок. Все черновые клетки расставлены на таком расстоянии одна от другой, чтобы сляб находился одновременно только в одной из них. Из последней черновой клетки раскат целиком выходит на рольганг. Когда требуется выпустить лист из стана при сравнительно низкой температуре (около 900°), на промежуточном рольганге производится обдувка воздухом, для чего под рольгангом имеется воздухопровод с соплами.

Первой клетью чистовой группы является окатиноломатель, на котором удаляется окалина, образовавшаяся во время прокатки в черновых клетях. Перед входом полосы в окатиноломатель передний конец обрезается летучими ножницами. Далее полоса проходит последовательно шесть чистовых клетей кварто, в которых прокатка происходит с образованием небольших петель, находящихся под натяжением, посредством петледержателей, аналогичных применяемым на других станах. Скорость прокатки в последней клетке современных станов достигает 11 м/сек.

Валки черновых клетей приводятся от моторов переменного тока, чистовых — от моторов постоянного тока с регулируемой скоростью в отношении 2:1. Общая мощность моторов для привода валков современного непрерывного листового стана, состоящего из десяти клетей, достигает 40 000 л. с.

В табл. 79 приведена схема прокатки листа 1500 × 1,6 мм из сляба 125 × 1500 × 4500 мм.

Уборка листов. Если продукт после горячей прокатки на непрерывном листовом стане должен быть выдан в виде нарезанных листов, то прокатанные полосы направляются на холо-

Таблица 79

№ пропуск	Наименование клетей	Размеры листа после пропуска, м			Обжатие		Сечение листа после пропуска, см²	Коэффициент вытяжки	Число оборотов валков в минуту	Скорость прокатки м/сек
		толщина мм	ширина мм	длина м	абсолютное мм	относительное %				
0		125	1500	4,5	—	—	1875	—	—	—
1	Окалиноломатель № 1 . . . . .	120	1500	4,9	5	4,0	1800	1,06	25,4	0,915
2	Клеть № 1 (уши- рительная) . . .	75	1505	6,8	45	37,5	1128	1,70	14,4	0,915
2a	Клеть № 2a (вер- тик.) . . . . .	75	1497	6,8	8	0,6	1123	1,00	—	—
3	Клеть № 2 . . . .	45	1503	12,9	30	40	675	1,67	32,5	1,017
3a	Клеть № 3a (вер- тик.) . . . . .	45	1495	12,9	8	0,6	673	1,00	—	—
4	Клеть № 3 . . . .	27	1499	21,5	18	40	405	1,66	48,8	1,525
4a	Клеть № 4a (вер- тик.) . . . . .	27	1493	21,6	6	0,4	402	1,00	—	—
5	Клеть № 4 . . . .	17,8	1494	32,7	9,2	34,8	266	1,51	68,2	2,135
6	Окалиноломатель № 2 . . . . .	17,4	1495	33,4	0,4	2,1	260	1,02	22,4	0,702
7	Клеть № 5 . . . .	10,6	1495,5	54,9	6,8	40,0	159	1,64	36,7	1,14
8	№ 6 . . . . .	6,4	1496	91,5	4,2	40,0	96	1,66	61,4	1,91
9	№ 7 . . . . .	3,7	1497	157,8	2,7	42,1	55,4	1,78	105,7	3,29
10	№ 8 . . . . .	2,4	1498	244	1,3	35,1	36,0	1,54	163,0	5,06
11	№ 9 . . . . .	1,8	1499	322	0,6	25,0	27,1	1,33	216,0	6,71
12	№ 10 . . . . .	1,6	1500	346	0,2	11,1	24,0	1,13	244,0	7,62

дильник, который чаще всего выполняется двусторонним. В конце каждого отводящего рольганга устанавливаются следующие агрегаты (рис. 237a): 1) правильная машина, 2) ножницы для обрезки кромок, 3) летучие ножницы для резки на мерные длины и 4) штабелирующее устройство.

Если же продукт после горячей прокатки выпускается в виде рулонов, то полоса по среднему рольгангу холодильника направляется к моталкам, число моталок у большинства непрерывных листовых станов — три. Моталки располагаются последовательно одна за другой под рольгангом. Моталка (рис. 239) имеет шесть роликов, из которых первый и последний делаются с неподвижными осями, а остальные — с подвижными, причем перемещение их регулируется особым механизмом. Полоса подающими роликами направляется через проводку к сматывающим роликам, которые располагаются по спирали, вследствие чего и витки полосы принимают такое же положение, т. е. каждый последующий виток накладывается снаружи на предыдущий. Таким образом, по мере наматывания диаметр рулона увеличивается, а вместе с этим ролики 2—5 постепенно отходят. После сматывания рулоны сталкиваются на конвейер, направляющий их в цех холодной прокатки.

Моталки сматывают листы до наибольшей толщины 6 мм, при которой еще возможно сгибание полосы с наименьшей температурой около 600°.

Листы, прокатанные в полосах, после резки и правки могут направляться дальше непосредственно на склад или в отделение для дополнительной отделки, аналогичной той, которая применяется для листов такой же толщины (1,25 мм и больше), прокатываемых на обычных станах дуо. Отделочная для горячекатаных листов располагается всегда рядом с пролетом стана горячей прокатки. Она включает следующие агрегаты: 1) нормализационную печь, 2) травильную машину плунжерного типа, 3) сушильную машину, 4) дрессировочные станы, 5) правильные машины и 6) ножницы.

Холодная прокатка. В большинстве случаев цехи для холодной прокатки листов и связанной с ней отделки располагаются отдельно от цеха горячей прокатки, но рядом с ним. Иные варианты расположения встречаются реже.

Продукт цехов холодной прокатки выпускается в виде рулонов (лента) или в виде листов. Последние можно разбить на две основные группы: 1) нормализованные листы и 2) отожженные листы. Особо следует выделить жечь, которая несколько отличается от остальных листов по характеру прокатки и отделки.

Первой операцией в цехе холодной прокатки является травление в непрерывных агрегатах (рис. 240). Рулон со склада магнитным краном подается на разматыватель, за которым располагаются ножницы для обрезки переднего конца, чтобы можно было его присоединить к заднему концу предыдущего рулона. Это выполняется сваркой или сшивкой, для чего имеется за ножницами та или иная специальная машина. Далее следуют: 1) четыре кислотные ванны, 2) две промывные ванны, одна с холодной, другая с горячей водой, 3) агрегат для просушки горячим воздухом, 4) ножницы для вырезки места сшивки и 5) сматыватель. Протягивание полосы через всю травильную линию, общая длина которой часто превышает 100 м, осуществляется тянущими роликами, главные из которых расположены за сушилкой. Обычно в каждом цехе холодной прокатки имеются 2—4 такие травильные линии.

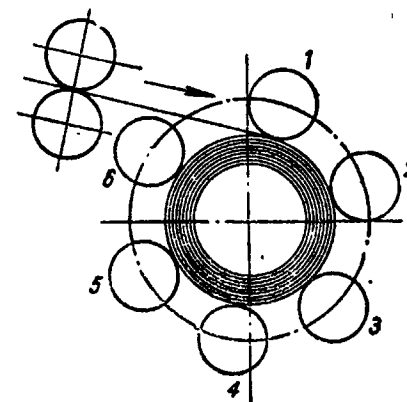


Рис. 239. Схема устройства моталки для тонких листов

После травления рулоны поступают в холодную прокатку; часть же из них выпускается в виде травленных листов (декапированных), для резки и правки которых имеется специальный комбинированный агрегат.

Для холодной прокатки листов в рулонах (кроме жести) применяются исключительно станы кварто двух типов — непрерывный в составе трех клеток и реверсивный. При входе в стан рулон

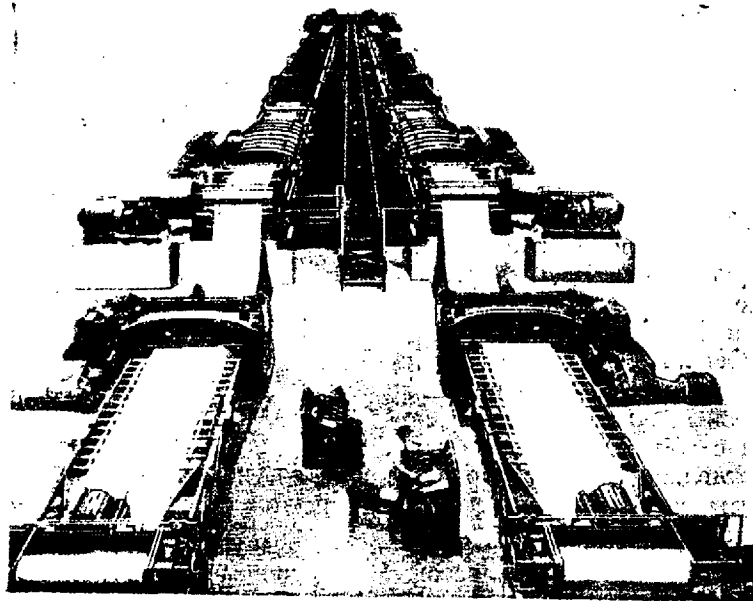


Рис. 240. Непрерывный травильный агрегат

должен разматываться, при выходе из стана — сматываться. В соответствии с этим с обеих сторон стана устанавливаются барабаны для разматывания рулонов (рис. 241).

Прокатка ведется с натяжением только со стороны выхода полосы из валков или с обеих сторон.

Диаметр рабочих валков большинства непрерывных станов холодной прокатки равен 480—520 мм, опорных — 1200—1420 мм. Длина бочки валков берется примерно на 10% больше максимальной ширины листа.

Мощность моторов для привода валков на многих станах равна 1250—1500 л. с. для каждой клетки. На некоторых станах последней установки мощность моторов для отдельных клеток достигает 2500 л. с.

Скорость прокатки в последней клетке на современных трехклетевых станах достигает 6 м/сек.

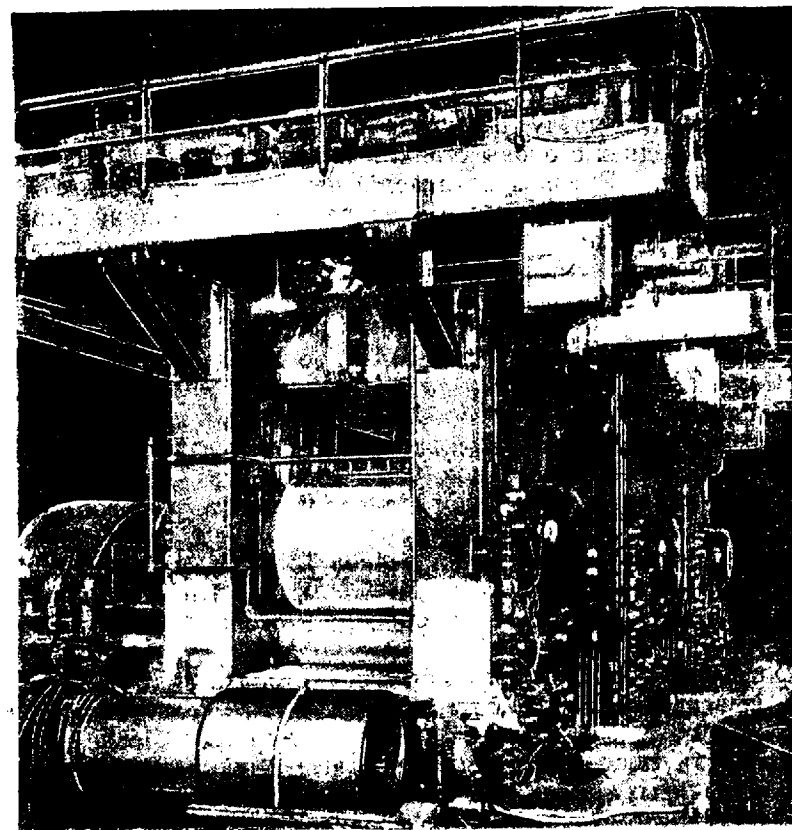


Рис. 241. Непрерывный стан кварто холодной прокатки

Общее обжатие за все пропуски без промежуточного отжига обычно не превышает 75%.

В табл. 80 приведен пример схемы прокатки листа на непрерывном стане.

Таблица 80

№ пропусков	Толщина полосы после пропуска мм	Обжатие за пропуск		Общее обжатие с начала прокатки %
		абсолютное, мм	относительное, %	
0	2,30	—	—	—
1	1,60	0,70	30,4	30,4
2	1,10	0,50	31,3	52,2
3	0,90	0,20	18,1	60,9



Прокатка на станах с тремя клетями ведется со смазкой и охлаждением валков поливкой эмульсией из смеси воды (85—95 %) и масла (15—5 %). Толщина полосы во время прокатки контролируется летучим микрометром.

При прокатке на непрерывных станах рулон помещается на барабан с передней стороны стана, и конец рулона задается в валки первой клетки. Рулон пропускается через все три клетки с малой скоростью, после чего конец его заправляется в задний барабан. С этого момента, когда три клетки и два барабана становятся единым комплексом, моторы начинают работать с ускорением до возможного максимального числа оборотов, которое к концу прокатки снижается.

На реверсивных станах прокатка производится в 3—5 пропусков. Мягкая сталь толщиной 3 мм за три пропуска обжимается до толщины 0,75 мм, т. е. с общим обжатием до 75 %. Высокоуглеродистая сталь при такой же величине общего обжатия прокатывается за 5—6 пропусков. Стан приводится в движение реверсивным мотором постоянного тока, мощность которого колеблется в больших пределах в соответствии с условиями прокатки. Например, стан с длиной бочки валков 1370 мм, работающий при наибольшей скорости прокатки до 5,7 м/сек, приводится во вращение мотором 3500 л. с. Мощность мотора барабана равна 1750 л. с.

Производительность трехклетьевого стана около 200 тыс. т в год, реверсивного — 80 тыс. т в год.

Отделка холоднокатаных листов. После холодной прокатки листы режутся на мерные длины на специальных комбинированных агрегатах, состоящих из: 1) разматывателя, 2) ножниц для резки кромок, 3) правильной машины с 15 или 17 роликами, 4) летучих ножниц барабанного типа для поперечной резки, 5) штабелирующего устройства.

После резки листы проходят термическую обработку — нормализацию или отжиг, затем поступают для дрессировки на специальные станы дуо или кварто. Листы, подвергавшиеся нормализации, проходят еще второе травление перед дрессировкой. Для отжига и нормализации применяются печи ранее описанных конструкций — камерные и колпаковые (туннельные печи в цехах с непрерывными станами встречаются редко).

Производство жести на станах непрерывной прокатки. Общая схема производства жести на непрерывных станах в основных чертах аналогична рассмотренной выше схеме производства листов, несколько отличаюсь от нее в отдельных операциях и включая добавочную конечную стадию производства — лужение.

На непрерывных станах горячей прокатки жечь в большинстве случаев прокатывается как часть общего количества выпускаемой продукции. Станы, прокатывающие исключительно жечь, встречаются редко.

Наличие жести в сортаменте непрерывных станов горячей прокатки влияет на характер и состав его оборудования следующим образом. Если стан прокатывает значительное количество жести, то длина бочки валков берется относительно небольшой, от 1065 до 1525 мм. Операции уширения здесь не требуется, и следовательно, отпадает необходимость в соответствующем оборудовании. Наконец, устройства для уборки листовой продукции не получают в этом случае значительного развития. Стан горячей прокатки выпускает продукт в рулонах как подкат для холодной прокатки толщиной 2,5 мм или несколько ниже.

В цехах холодной прокатки после травления рулоны поступают для холодной прокатки на непрерывный стан, состоящий из пяти клеток кварто, в которых толщина полосы уменьшается до наименьшей величины в 0,2 мм. Типовой стан для холодной прокатки жести имеет следующую основную характеристику:

Диаметр рабочих валков	550 мм
опорных	1345 "
Длина бочки валков	1065 "
Мощность мотора 1-й клетки	1750 л. с.
моторов 2—5 клеток	от 3500 до 4000 л. с.

Скорость прокатки на стане новейшей установки достигает 30 м/сек.

При холодной прокатке жести на непрерывных станах валки смазываются пальмовым маслом. Поэтому обжатия здесь применяются более высокие, чем в трехклетьевом стане, как видно из табл. 81.

Таблица 81

№ пропусков	Толщина полосы после пропуска мм	Обжатие за пропуск		Относительное обжатие с начала прокатки %
		абсолютное мм	относительное %	
0	2,40	—	—	—
1	1,11	1,29	53,7	53,7
2	0,63	0,18	43,2	73,7
3	0,40	0,23	36,5	83,4
4	0,32	0,08	20,0	86,7
5	0,28	0,04	12,5	88,3

После холодной прокатки рулоны поступают в электролитическую очистку для удаления масла и грязи. Сначала полоса, разматываясь, проходит через первую ванну, в которой обрызгивается щелочным раствором, затем вступает во вторую ванну — электролитическую, где удаляются масло и грязь, оставшиеся после первой ванны. По выходе из второй ванны полоса очищается окон-



чительно щетками в резервуаре с водой, имеющей температуру около 50°. После очистки полосы свертываются в рулоны, поступающие в отжиг, который производится в камерных или в колпаковых печах. Отожженные листы дрессируются в рулонах на двухклетевых станах кварто. На этом заканчивается прокатка и отделка жести в рулонах.

Дальнейшие операции связаны с лужением жести. При горячем лужении методом погружения необходимо рулоны разрезать на карточки и окончательно протравливать их перед самым процессом лужения. Рулоны режут на карточки на специальных агрегатах, включающих правильную машину, ножницы для продольной резки кромок и для поперечной резки на карточки и механизм для укладывания карточек в пачки. Дальнейшие операции — травление и лужение — выполняются так же, как в производстве горячекатаной жести.

При электролитическом лужении жесь в рулонах после дрессировки поступает в лудильное отделение, где обрабатывается в следующем порядке (рис. 242).

Со склада рулоны поступают на два размотывателя, работающих попеременно. От них лента протягивается парой роликов. Между роликами и размотывателем находится аппарат для сварки концов предыдущего и последующего рулонов. Далее расположен механический петлеобразователь, состоящий из комплекта стационарных роликов и комплекта подвижных роликов, монтированных на общей каретке, уравновешенной грузом; лента всегда находится под натяжением. Благодаря наличию петлеобразователя имеется запас ленты длиной около 120 м в зигзагообразной форме, используемой во время сварки. Поверхность ленты, поступающей от дрессировочного стана, бывает покрыта легким слоем окиси; ее необходимо удалить, так как от чистоты поверхности зависит прочность связи олова со сталью. Окись удаляют травлением в растворе серной или соляной кислоты с последующей промывкой холодной водой.

Дальше лента проходит последовательно через ванну покрытия и через промывную ванну, в которой удаляется излишек электролита. Во всех ваннах лента проходит под натяжением, осуществляемым главным натяжным устройством, состоящим из барабана diam. 650 мм с двумя опорными роликами diam. 350 мм.

Лента сматывается на моталку; перед ней расположен петлеобразователь, собирающий запас ленты во время снятия бунта с моталки.

Жесь после электролитического лужения получается пористой, с серой матовой поверхностью. Для получения гладкой полированной поверхности и для повышения коррозионной устойчивости производят оплавление олова с последующим его затвердеванием. Для этого ленту пропускают через горячую масляную ванну, трубчатую печь или высокочастотный индуктор. Последний метод считается наиболее эффективным. Электролитически покрытая лента.

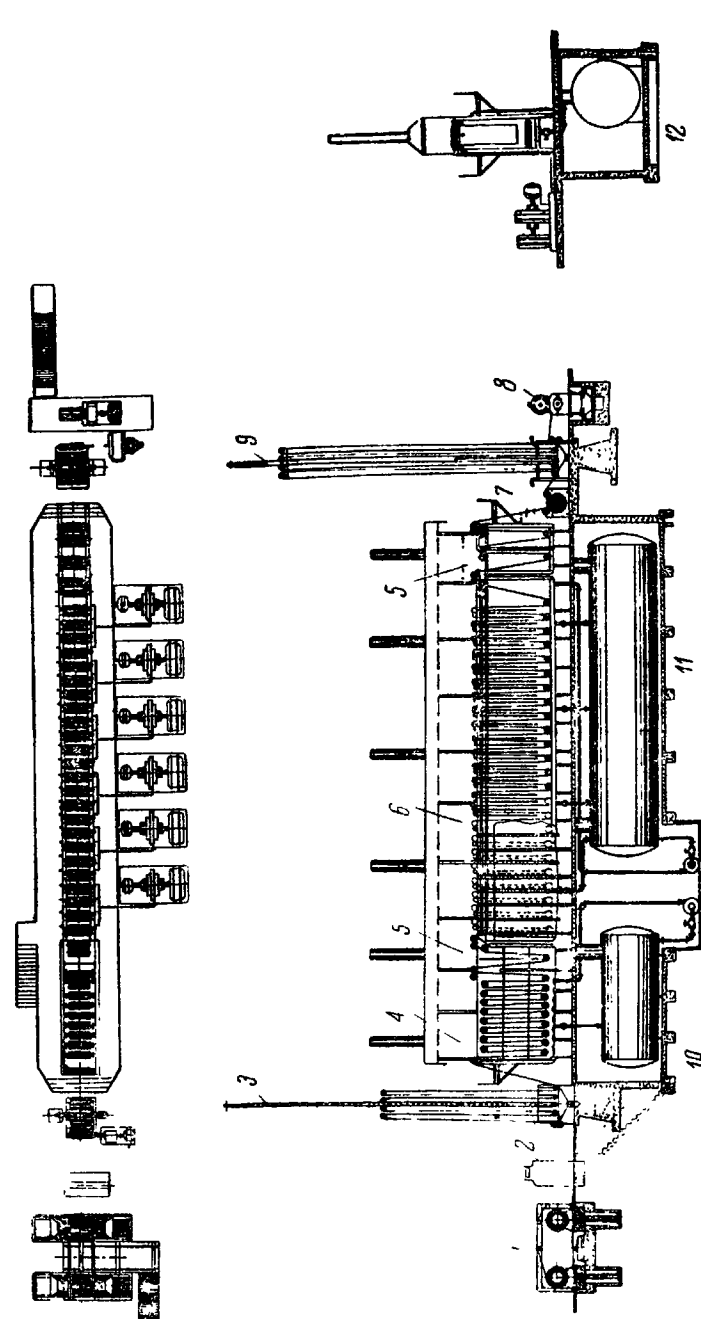


Рис. 242. Агрегат для электролитического лужения жести

1 — размотыватель; 2 — сварочный аппарат; 3 — входной петлеобразователь; 4 — травильная ванна; 5 — промывная ванна; 6 — зажим покрытия; 7 — главное натяжное устройство; 8 — сматыватель; 9 — выходной петлеобразователь; 10 — резервуар для кислотного раствора; 11 — резервуар с раствором для покрытия; 12 — разрез через ванну покрытия

осушенная горячим воздухом, входит в обмотку (рис. 243) индуктора при температуре около  $55^\circ$ , где нагревается токами высокой частоты до температуры расплавления олова ( $233^\circ$ ) после прохождения 90% длины обмотки. При этой температуре сырое олово растекается по поверхности, затем затвердевает при прохождении ленты через водяной закалочный резервуар со снижением температуры до  $38^\circ$ . В результате получается гладкая блестящая поверхность, которая еще более улучшается путем пропуска ленты

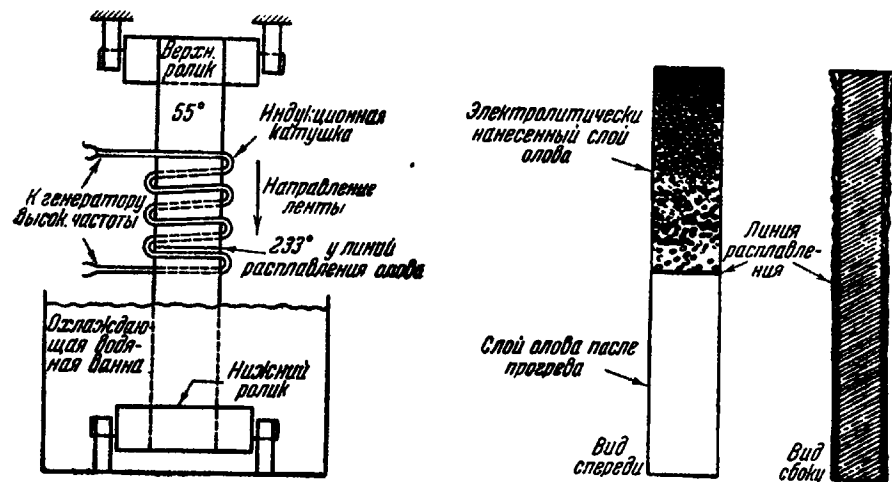


Рис. 243. Аппарат для оплавления олова

через фланелевые валки. После этого лента летучими ножницами разрезается на карточки требуемой длины, проходит через классификатор, производящий сортировку, и укладывается в пачки.

Операция оплавления и следующие за ней могут выполняться отдельно от лужения или составлять с ним единый непрерывный комплекс.

## 7. Характеристика брака тонколистовой стали

Как и при описании прокатки толстых листов, рассмотрим только характерные виды брака тонких листов, получающегося в процессе горячей прокатки и отделки — резки, отжига, травления.

При горячей прокатке тонких листов подавляющее количество брака можно разбить на две основные группы: 1) брак из-за неправильных размеров и 2) брак из-за неудовлетворительной поверхности. Прокатка тонких листов, в большинстве случаев, заканчивается при температуре ниже точки  $A_3$ , поэтому необходимые показатели механических свойств получают путем соот-

ветствующей термической обработки. Листы с неудовлетворительными механическими свойствами получаются в результате неправильной термической обработки.

Как уже говорилось выше, при прокатке тонких листов большое значение имеет контур поверхности вала и регулировка его в процессе работы путем снижения и повышения температуры отдельных участков валков. Небольшие изменения температуры в тех или иных местах валков чувствительно сказываются на деформации прокатываемых листов.

Если середина бочки сильно разогревается и становится выпуклой, лист начинает вытягиваться сильнее в средней части и получается коробоватым или с волной в середине. Если же валки полые, лист выходит с волнистыми кромками при малом перегреве или с так называемым «порезом» при значительном разогреве краев вала. «Порез» представляет собой складки, получающиеся при смятии в валках волн, образующихся в случае неравномерного обжатия отдельных частей листа и идущих от краев к середине. Эти складки могут оказать большое давление на валки, в результате чего на них может получиться впадина, или так называемый надав, который впоследствии на прокатанных листах будет вызывать дефект «надав». Следует указать, что лист может получаться волнистым также при неравномерном нагреве металла, из-за чего различные части листа получают неодинаковое удлинение.

При прокатке в валках с неправильным контуром концы листа — передний и задний — получаются неровными, поэтому в обрезки отходит металла больше, чем по расчету, и следовательно, лист может получиться коротким при правильной толщине или слишком тонким при правильной длине. Неправильную ширину и толщину лист может иметь также в случае небрежной проверки размеров его по выходе из валков.

При прокатке на станах дуо листы получают с дефектами из-за неправильной укладки пакета или неправильной прокатки его. Например, пакеты могут прокатываться с невыравненными краями или косо, в результате чего кромки листов получают рваными. При плотной прокатке пакета с большими обжатиями листы могут свариться. Этот дефект может возникнуть также в случае прокатки перегретых пакетов. Сварка может получаться различной — от слипания, при котором листы более или менее легко отделяются один от другого, до полной сварки отдельных мест листов, при которой разделить их невозможно; такие пакеты представляют собой окончательный брак.

Плохая поверхность листа получается по следующим основным причинам: 1) из-за вкатанной окалины, образующейся при нагреве сутунки или пакетов и не удаляемой перед прокаткой, 2) из-за неудовлетворительного состояния поверхности валков, обусловленного сильной выработкой или привариванием к валкам частиц металла, своевременно не удаленных. В этих случаях на

поверхности листа образуются дефекты — от небольших царапин до сплошной рябизны.

Поверхность листов может портиться также от попадания на сутунки или раскаты во время нагрева в печах кусочков кирпича, которые при прокатке вдавливаются в металл (этому виду брака присвоено название «печная земля»). Нередко на отдельные места листов попадает смазка с шеек валков; с таких мест окалина при травлении не удаляется.

Не все листы с указанными дефектами идут в окончательный брак, часть их выпускается вторым сортом. Мероприятия по борьбе с браком заключаются в устранении всех неправильностей и небрежности при ведении технологического процесса, особенно в части регулировки контура валков и своевременной смены их.

Неправильный отжиг приводит: 1) к получению поверхности листов с горелыми кромками и значительной синевой в отдельных местах, вследствие сильного окисления, 2) к получению неудовлетворительной структуры и пониженных показателей механических свойств.

Наиболее характерный дефект листов при травлении — так называемые пузыри на поверхности. Причина этого явления точно не установлена, но предполагают, что оно связано с поглощением водорода во время травления порами и пустотами, имеющимися в металле. При достаточно большом количестве поглощенного водорода происходит вздутие отдельных мест с образованием пузырей. В соответствии с таким объяснением происхождения пузырей рекомендуется избегать удлинения процесса травления сверх необходимого времени.

Из других дефектов травления можно отметить: 1) неудовлетворительную промывку листов после травления, вследствие чего на металле остаются так называемые травильные пятна; 2) при полном соприкосновении отдельных мест соседних листов при травлении остаются протравленные места, или так называемые черные пятна; 3) при плохой просушке протравленных и промытых листов на их поверхности образуется ржавчина.

#### 8. Техничко-экономические показатели производства тонких листов

Все показатели производства тонких листов зависят не только от вида и марок прокатываемых листов, но еще и от того или иного назначения их, обуславливающего характер технологического процесса в листопрокатных цехах. Например, лист можно выпускать горячекатаным и холоднокатаным, с отжигом в одну или несколько ступеней и т. д. Кроме того, показатели зависят и от метода производства — на станах дуо или на непрерывных станах. Поэтому в табл. 82 приведены технико-экономические показатели для наиболее характерных видов тонких листов (на 1 т готовой продукции).

Таблица 82

Наименование готового продукта	Расход металла, т		Расход условного топлива кал
	сутунка или слябы	в пересчете на слитки	
Станы дуо			
Листы резервуарные . . . . .	1,200	1,320	
То же декапированные . . . . .	1,260	1,373	
• автотракторные горячекатаные . . . . .	1,270	1,384	
Жесть черная полированная . . . . .	1,380	1,504	
Кровельное железо . . . . .	1,260	1,373	
Непрерывные станы			
Листы углеродистые кипящей стали . . . . .	1,110	1,310	500 000
То же, спокойной стали . . . . .	1,110	1,386	500 000
Рулоны углеродистые кипящей стали . . . . .	1,050	1,240	500 000
То же, спокойной стали . . . . .	1,050	1,355	500 000

## ГЛАВА 8

## ПРОИЗВОДСТВО БАНДАЖЕЙ И КОЛЕС

**Сортамент.** По новейшим методам колеса изготавливаются цельнолитыми или цельнокатаными. Эти методы, однако, применяются пока только в производстве вагонных колес, паровозные же колеса до сих пор изготавливаются составными, из двух частей — так называемого «центра» и насаживаемого на него бандажа. Таким образом в современной практике существует прокатка колес для вагонов и бандажей для паровозов.

Вагонные колеса, изготавливаемые в СССР, имеют диаметр 950 и 1050 мм. Паровозные бандажи прокатываются до наибольшего диаметра 1760 мм.

Для изготовления бандажей и колес служит сталь с пределом прочности при растяжении 75—90 кг/мм<sup>2</sup> при минимальном удлинении в 10% для образца  $l=4d$ . Такая сталь содержит углерода 0,50—0,80%, марганца — 0,60—0,90%, кремния — 0,15—0,35%, серы и фосфора до 0,05%. Во время приемки бандажи и колеса испытываются на растяжение и на удар.

**Исходный материал.** Бандажи и колеса прокатываются из слитков и заготовок. Слитки отливаются комплектные (для получения кратного количества бандажей и колес тех или иных размеров), с уширением кверху и с прибылью; в сечении слиток имеет форму двенадцатигранника или круга. Для примера приведем размеры и вес слитков для прокатки бандажей (табл. 83).

Таблица 83

Диаметр описанной окружности мм		Высота мм	Вес кг
верхний	нижний		
600	550	{ 1855 1475 1550	3160
480	410		2500
			1500

Такие слитки предварительно разрезаются на части, из которых получается по одному изделию. На некоторых старых заводах до сих пор еще применяются однокомплектные слитки.

На некоторых заводах прокатка ведется из слитков с квадратным сечением размером около 640×640 мм и весом 4—5 т.

Эти слитки сначала обжимаются на блюминге до круглого сечения диаметром 380 и 460 мм и затем разрезаются специальными ножницами на части, из которых получается по одному изделию.

Схема технологического процесса и оборудования. Схемы технологического процесса и оборудование для получения бандажей и колес идентичны, отличаясь лишь в отдельных деталях и количестве операций. В некоторых случаях на одном и том же оборудовании прокатываются и бандажи и колеса. На рис. 244 показана схема изменения формы изделия после каждой операции, а на рис. 245 — схема расположения колесопрокатного стана одного из заводов. Как видно из схем, горячая обработка представляет собой комбинацию процессов прессования и прокатки. Основные отличия между технологическими схемами производства бандажей и колес заключаются в следующем: 1) в производстве бандажей перед прокаткой применяется одна операция прессования, в производстве колес — две; 2) бандажи прокатывают в двух станах — черновом и чистовом, колеса — в одном стане; 3) после прокатки колес производится выгибка диска прессованием и калибровка, после прокатки бандажей — только калибровка.

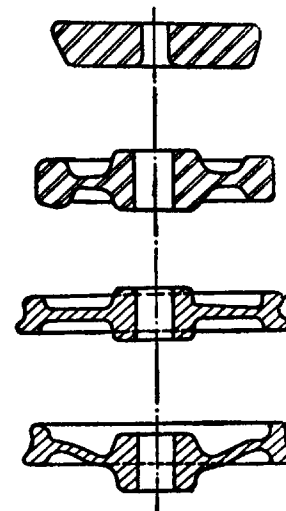


Рис. 244. Схема изменения формы изделия при производстве колес

Если бандажи и колеса изготавливаются из слитков, то первой операцией является разрезка его на специальных станках на части (шайбы) требуемого веса. Разрезка производится не до конца, а с оставлением сердцевины диам. 160—180 мм, затем слиток ломается на прессе.

Следующая операция — нагрев слитков в две ступени: сначала в методической печи до температуры около 900°, затем в камерных печах, где температура доводится до 1200—1150°. При таком методе получается хороший равномерный нагрев слитка. В методических печах слитки располагаются в четыре ряда, как показано на рис. 246. Слитки сажают в камерные печи и выдают из печей специальными садочными машинами напольного типа.

Нагретый слиток подают к прессу, на котором слиток осаживают, и прошивают в нем отверстия. Мощность этих прессов различна и достигает 10 000 т.

Следующая операция — формовка колеса с образованием ступицы и обода на втором прессе такой же мощности. В производстве бандажей эта операция отсутствует; заготовка после прошивки отверстия сразу передается на прокатный стан — сначала черновой, затем — чистовой. Колесо прокатывается после второго прессования.

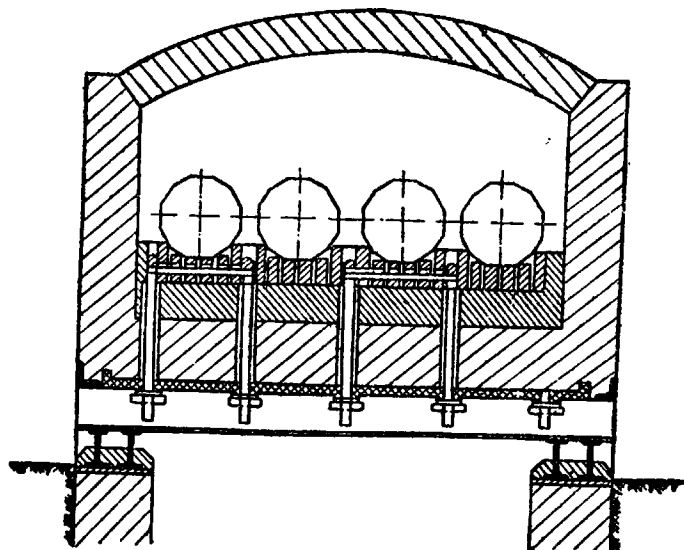


Рис. 246. Расположение слитков в печи

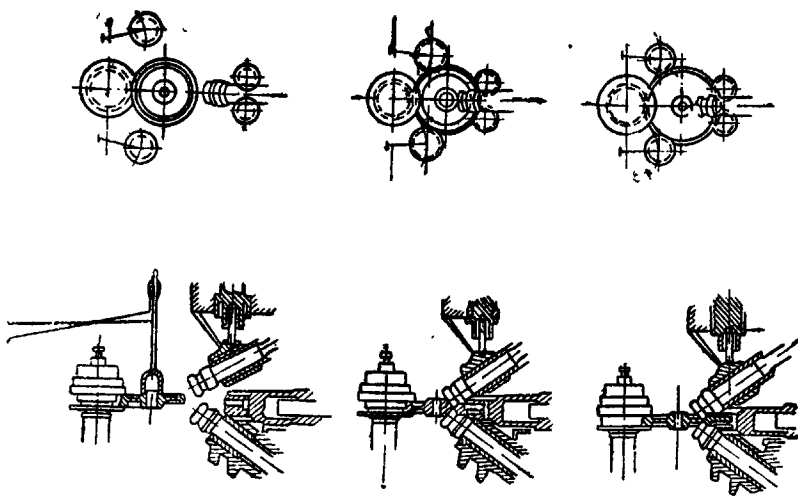


Рис. 247. Схема колесопрокатного стана

Колесопрокатный стан (рис. 247) имеет семь валков: 1) один вертикальный приводной, 2) четыре вертикальных холостых и 3) два наклонных — верхний и нижний. Пять вертикальных валков служат для обработки поверхности катания и гребня, наклонные — диска и обода. Валки приводятся в движение двумя моторами, из которых первый — мощностью 1500 л. с. — вращает вертикальный и нижний наклонный валки, второй — мощностью 120 л. с. — верхний наклонный валок.

За прокаткой следует операция выгибания диска на третьем прессе мощностью 2500 т, после чего колесо передается в термическую обработку, включающую: 1) закалку поверхности катания обода и гребня и 2) самоотпуск в неотпливаемых колодцах.

Бандажи после прокатки подвергаются растяжке на специальном прессе, после чего замедленно охлаждаются в ямах или колодцах.

Термическая обработка бандажей заключается в нагреве, сплошной закалке в масляном баке, последующем отпуске в отопляемых вертикальных печах, в которые бандажи поступают при температуре 150—200°, и замедленном охлаждении в ямах.

После прокатки бандажи набираются на специальные железные каркасы, и дальнейшие операции проходят в стопах.

## ГЛАВА 9 ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

### 1. Введение

Производство труб стоит несколько обособленно от остальных видов прокатного производства не только из-за формы готового изделия, но также и потому, что большая часть труб является продуктом последующего (вторичного) передела основных видов проката — круглой и плоской заготовки. Кроме того, при рассмотрении производства труб приходится описывать получение их не только прокаткой, но также волочением, сваркой, прессованием и ковкой, так как раздельное изложение этих процессов было бы неправильно с точки зрения общей методологии.

Классификация и сортамент. Трубы классифицируются по двум признакам: 1) по методу производства и 2) по применению.

По методу производства большая часть стальных труб делится на два основных класса — бесшовные трубы и сварные трубы; каждый из них имеет свои подразделения, о которых сказано ниже.

По применению стальные трубы делятся на следующие группы:

1. Трубы для сооружения всякого рода трубопроводов, применяемых при передаче жидкостей и газов. К этой категории относятся трубы: нефтепроводные, водопроводные, паропроводные, газопроводные, насосно-компрессорные, аммиачные и тормозные.

2. Теплопроводные трубы, применяемые для передачи тепла, — жаровые, дымогарные, кипяточные, паропроводные, хлебопекарные.

3. Конструкционные — бурильные, обсадные, шарикоподшипниковые, автотракторные, авиационные, велосипедные и др.

4. Трубы специальных назначений — орудийные, баллонные, для холодильников и др.

### 2. Производство бесшовных труб

Общая схема процесса производства бесшовных труб предусматривает две основные стадии: 1) получение гильзы из слитка или заготовки и 2) получение готовой трубы из гильзы. Эти две стадии имеются в любом процессе получения бесшовных труб методом прокатки и методом прессования с последующей горячей протяжкой.

Различают следующие методы прокатки бесшовных труб:

1) прошивка слитка в гильзу и раскатка гильзы на периодическом стане;

2) прошивка катаной заготовки в гильзу и раскатка гильзы на автоматическом стане дуо;

3) прошивка катаной заготовки в гильзу последовательно на двух прошивных станах и раскатка гильзы на автоматическом стане;

4) прошивка катаной заготовки и раскатка гильзы на непрерывном стане;

5) прошивка катаной заготовки в гильзу на первом прошивном стане и раскатка гильзы на втором таком же стане.

**Прокатка бесшовных труб с раскаткой на периодических станах.** Первая установка для производства бесшовных труб, которая является прототипом современных станов, относится к 1890 г.

Этим способом прокатываются трубы с наружным диаметром от 40 до 605 мм, с максимальной длиной до 30 м и минимальной толщиной стенки в 2,5 мм. Исходным материалом для прокатки обычно служат круглые слитки, заготовки же применяются в редких случаях, например, в случае прокатки труб малых диаметров или если трубы прокатываются из легированной стали. Диаметр слитков берется на 50—60 % больше наружного диаметра готовых труб. Вес слитка колеблется в пределах 300—3500 кг. В табл. 84 приведены данные о размерах и весе слитков, применяемых на одном заводе для прокатки труб диаметром от 150 до 400 мм.

Таблица 84

Номинальный диаметр трубы мм	С л и т о к		
	диаметр мм	высота мм	в е с кг
150	270/250	970—1860	400—770
200	335/320	930—1810	600—1190
250	405/390	885—1100	840—1600
300	475/460	820—1570	1070—2060
350	570/565	1440	2800
400	620/610	1360	3170

Процесс прокатки по этому методу разделяется на две стадии:

1) получение из слитка гильзы со стенкой той или иной толщины на прошивном стане и 2) раскатка гильзы в трубу на периодическом стане. Прошивной стан имеет два рабочих вала, вращающихся в одном направлении. В вертикальной плоскости оси валов расположены наклонно, образуя с осью слитка угол в 4—7°. Процесс прокатки гильзы делится на три периода: в первом производится прошивка слитка как результат разрыхления централь-

ной зоны и образования полости, во втором гильза раскатывается между валками и пробкой, в третьем гильза получает окончательные размеры. В соответствии с таким разделением процесса прокатки гильзы контур поверхности валка очерчивается, как показано на рис. 248.

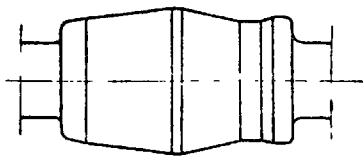


Рис. 248. Валок прошивного стана

Течение материала при прошивке слитка в валках. В рассмотренных выше видах продольной прокатки движение слитка в валках совершается в направлении, перпендикулярном оси вращения валков (рис. 249, а), в прошивных станах, если не учитывать косого расположения валков в вертикальной плоскости, слиток движется вдоль оси вращения валков (рис. 249, б). Далее при продольной прокатке валки вращаются в разные стороны, а

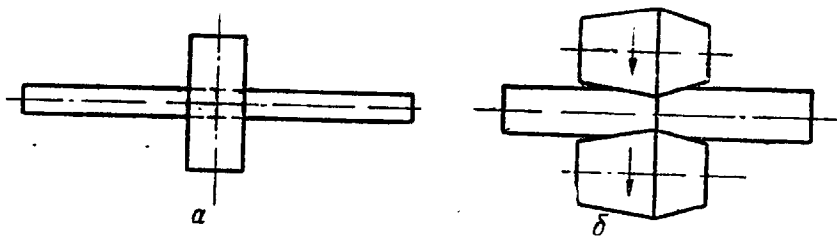


Рис. 249. Схема продольной и поперечной прокатки

в прошивных станах — в одну сторону, благодаря чему слиток получает в валках вращательное движение, характерное для поперечной прокатки.

Помимо вращательного, слиток имеет еще и поступательное движение, как видно из рис. 250. Окружающее усилие  $O$  разлагается на  $O_1$ , действующее в направлении прокатки, и  $O_2$ , перпендикулярное к нему, производящее вращение слитка, причем:

$$O_1 = O \cdot \sin \alpha, \quad O_2 = O \cdot \cos \alpha.$$

Благодаря совокупным вращательному и поступательному движениям, слиток постепенно обжимается по всей окружности и на всю длину. В зоне прошивки из-за конусности

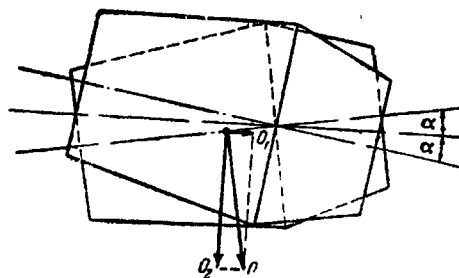


Рис. 250. Усилия, действующие на валки прошивного стана

валков просвет между ними постепенно уменьшается, поэтому скорость валков по ходу прокатки возрастает, а вместе с ней возрастает и число оборотов слитка. Действительно, скорость вращения слитка при переменном диаметре валков  $D_x$  и числе оборотов в минуту  $n$  определяется из равенства:

$$v = \frac{D_x n}{19,1} \cdot \cos \alpha.$$

С этой же скоростью вращается и слиток с переменным диаметром  $d_x$ . Переменное число оборотов слитка  $n_x$  определяется из соотношения:

$$\frac{d_x n_x}{19,1} = \frac{D_x \cdot n}{19,1} \cdot \cos \alpha,$$

откуда:

$$n_x = \frac{D_x}{d_x} \cdot n \cdot \cos \alpha.$$

Равенство показывает, что при постоянных  $n$  и  $\alpha$  число оборотов  $n_x$  возрастает при увеличении  $D_x$  и одновременном уменьшении  $d$ . Из этого следует, что в зоне прошивки происходит скручивание слитка.

Далее, вследствие вращения слитка обжимаемые поверхности все время перемещаются. Совершенно очевидно, что за один оборот слитка каждая точка поверхности его обжимается два раза. При обжатии слитка по какой-либо оси поперечного сечения в перпендикулярном направлении он сплющивается, вследствие чего поперечное сечение слитка принимает приблизительно овальную форму. При таком характере деформации материал слитка испытывает различные напряжения в отдельных частях. В месте действия обжимающих сил возникают сжимающие напряжения, величина которых, будучи наибольшей у контактных поверхностей, постепенно убывает к центру. Но по мере перемещения слитка в зоне прошивки величина сжимающих напряжений увеличивается. Вследствие такого неравномерного распределения сжимающих усилий удлинение слитка имеет также неравномерный характер: оно постепенно убывает от краев слитка к центру и на переднем конце слитка образуется вогнутость, переходящая постепенно в полость (рис. 251) при постепенном надвигании слитка на пробку.

В средних частях слитка возникают растягивающие и скалывающие напряжения, нарушающие сплошность металла. Нарушение сплошности начинается в центре слитка, где напряжения достигают наибольшей величины, и распространяется в виде радиальных трещин. Образование таких трещин наблюдается в круглых штангах при поперечной ковке их под молотом с поворотом около оси на небольшой угол после каждого удара (рис. 252).

На практике прошивку ведут без вскрытия осевой полости для предупреждения разрушения металла и образования брака по пленам.

Во второй зоне гильза раскатывается на пробке. Здесь валки имеют конусность, обратную конусности валков первой зоны. Вследствие этого по мере передвижения трубы ее наружный диаметр увеличивается. Средняя часть слитка надвигается на пробку, что способствует более интенсивному образованию отверстия, начавшемуся еще в зоне прошивки в результате разрыхления центральной части слитка и вследствие того, что наружные части удлиняются сильнее внутренних. Во второй зоне, как и в зоне прошивки, наружные слои получают большее удлинение под влиянием



Рис. 251. Образование полости при прошивке слитков

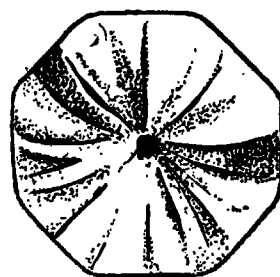


Рис. 252. Схемаковки круглых штабов

более значительного воздействия сжимающих сил. Постепенно образующаяся гильза проходит через третью зону — выпускную, где получает окончательные размеры по диаметру.

Технологический процесс протекает в следующем порядке. Слитки нагреваются в методических печах, обычно двухрядных, с наклонным подом. Для кантовки и передвижения слитков с обеих сторон методической печи имеются кантовальные машины, которые перемещаются вдоль всей печи. Нагретые слитки выдаются из печей выталкивателем на рольганг, с которого поступают в приемный жолоб, находящийся между рабочей и шестеренной клетями. Из жолоба слиток толкателем подается в валки прошивного стана.

Схема расположения прошивного стана показана на рис. 253. Основные части стана:

1. Рабочая клеть с двумя рабочими валками, имеющими диаметр в наиболее толстой части от 450 до 750 мм при длине бочки

от 900 до 1000 мм, и одним или двумя направляющими валками. Число оборотов рабочих валков от 30 до 70 в минуту. Рабочие и направляющие валки изготавливаются из ковanej стали.

2. Шестеренная клеть с тремя шестеренными валками, имеют больший диаметр, чем шестерня среднего вала, соединенного с мотором.

3. Соединительные шпиндели с шарнирными головками. Длина шпинделей — около 6 м во избежание значительного перекаса их.

4. Электромотор с редуктором. Число оборотов валков при прокатке труб разного сортамента приходится менять, поэтому

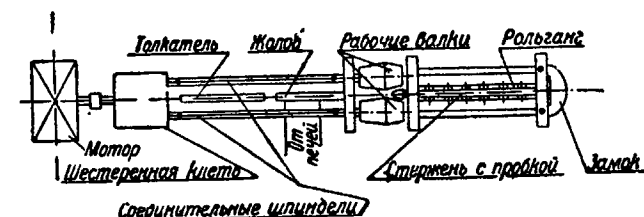


Рис. 253. Схема расположения прошивного стана

желательна установка мотора постоянного тока. Мощность моторов прошивных станов, прокатывающих трубы диам. 150—400 мм, равна 2000—2500 л. с.

5. Стержень с пробкой, который крепится в специальном замке, представляющем собой раму, вращающуюся на вертикальной оси посредством гидравлического цилиндра. Такое устройство позволяет смещать стержень в осевом направлении примерно на 100 мм. Во время прошивки стержень вращается, благодаря чему уменьшается трение между ним и гильзой.

6. Рольганги для приема прошитой гильзы, располагающиеся за прошивным станом, перед упорным замком и за ним.

По выходе из валков гильза находится на стержне. Для снятия ее и передачи к периодическому стану необходимо открыть замок, приподнять рольганг и привести в движение ролики. В это время стержень удерживается специальным держателем. Гильза по рольгангам уходит за пределы станины, в которой крепится замок, и попадает на тележку, передающую ее к периодическому стану для дальнейшей прокатки.

Прокатка на периодических станах. Обычно с одним прошивным станом работают два периодических стана, расположенных по обе стороны приводного мотора (рис. 253, а). Периодический стан — это стан дуо с постоянным направлением вращения валков, диаметр которых варьирует в широких пределах, практически от 250 до 1150 мм, в зависимости от размеров прокатываемых труб. В табл. 85 приведены характеристики этих станов, установленных на некоторых заводах.



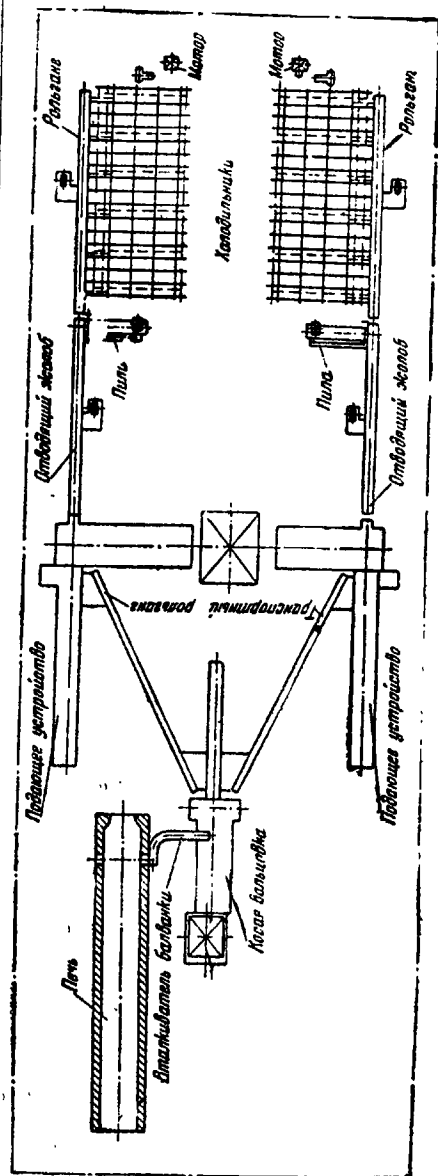


Рис. 253а. Схема расположения установки для прокатки бесшовных труб с раскаткой на периодическом стане.

Таблица 85

Завод	Размер прокатываемых труб мм	Диаметр валков мм	Длина бочки валков мм	Число оборотов валков в минуту	Мощность мотора л. с.	Вес маховика т
А	200—400	850—1100	440	35—75	3500	85
Б	150—300	650—850	360	40—95	2400	60
В	125—250	750	320	45—100	2000	50

Валки вращаются навстречу движению подаваемой гильзы. Подъем верхнего валка осуществляется от электромотора, уравновешивание — от гидравлического цилиндра.

Процесс на стане построен по принципу периодической прокатки. За каждый оборот валка труба обрабатывается по длине на величину подачи, которая на практике обычно не превышает 30 мм (рис. 254). Валки имеют круглый калибр переменного сечения (рис. 255). В поперечном разрезе тело валка разбивается на три участка: 1) рабочий<sup>1</sup>, который имеет поверхность переменного

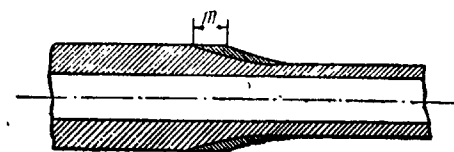


Рис. 254. Схема обжатия гильзы в периодическом стане

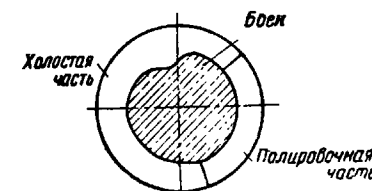


Рис. 255. Валок периодического стана

радиуса, обжимающую гильзу, 2) полировочный, с постоянным радиусом поверхности, сглаживающей неровности или полирующей гильзу и 3) холостой, не участвующий в обработке гильзы.

Процесс прокатки в валках представляется в следующем виде (рис. 256). Положение, обозначенное цифрой I, соответствует моменту, когда валки начальной точкой рабочей поверхности касаются гильзы и начинают обжимать ее, постепенно снимая слой металла, соответствующий подаче (положение II), причем оправка вместе с гильзой смещается назад. Далее валки разглаживают прокатанную поверхность трубы (до положения III), после чего труба выходит из соприкосновения с валками, так как калибр постепенно расширяется, и в этот промежуток времени (положение IV) оправка с трубой подается вперед с поворотом на 90°, что осуществляется специальным подающим аппаратом. Подача рассчитывается таким образом, чтобы за один оборот валка гильза обжималась на определенную заданную величину (8—30 мм).

Об устройстве и работе подающего аппарата дает представление схема, изображенная на рис. 257. Как было сказано выше, труба вместе с оправкой во время обжатия отодвигается назад. В промежуток времени, который соответствует пути движения холостого участка калибра валка, оправка с гильзой должна быть подана на величину отодвигания, равную  $m_1$ , плюс величина подачи, равная  $m_2$ . Первая величина сравнительно велика и постоянна для каждого хода, поэтому возвратное движение оправки с гильзой на величину  $m_1$  быстро осуществляется поршнем пневматиче-

<sup>1</sup> Или так называемый боек.

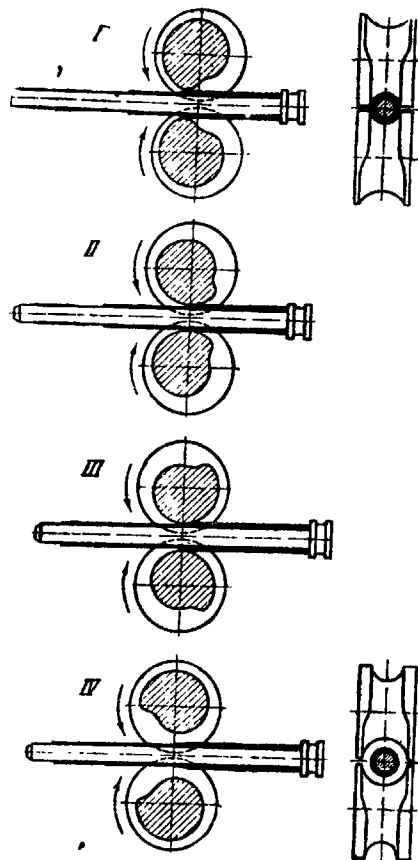


Рис. 256. Схема процесса прокатки на периодическом стане

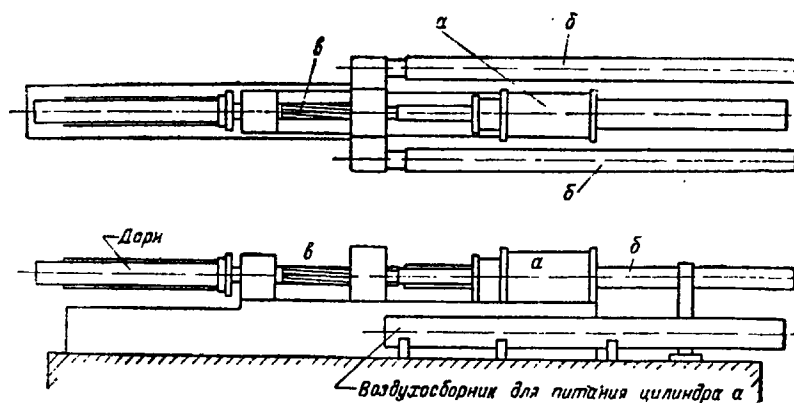


Рис. 257. Подающий аппарат

ского цилиндра *а*. Вместе с тем цилиндр перемещается на салазках, которые соединяются с двумя гидравлическими цилиндрами двустороннего действия *б*, работающими при давлении воды 100 ат и подающими салазки за каждый оборот валков на величину подачи  $m_2$  (8—30 мм) (ход поршня гидравлических цилиндров 8—12 м, ход поршня воздушного цилиндра 800—1700 мм, давление воздуха около 6,5 ат). Оправка с гильзой должна после каждого оборота валков поворачиваться на 90°, что осуществляется спиральным шпинделем *в*, соединенным с поршнем пневматического цилиндра. Со стороны цилиндра, обращенной к клетке, шток поршня соединяется с штангой, имеющей паз, в который вкладывается оправка.

Форма оправки показана на рис. 258. Длина ее на 500—1000 мм больше длины гильзы. Головка оправки входит в паз держателя оправки. Оправки изготавливаются из углеродистой или легированной стали с содержанием углерода от 0,4 до 0,6%. Легирующими элементами являются хром, никель и молибден. Во время раскатки гильзы оправка нагревается до температуры выше 300°, поэтому после изготовления каждой гильзы ее приходится сменить и охлаждать (сначала на воздухе, затем в водяной ванне). Чтобы работа могла вестись непрерывно, в обороте должно находиться несколько оправок (12—15 шт.).

Прокатка на периодическом стане ведется следующим образом. Как было сказано выше, гильза от прошивного стана к той или иной клетке периодического стана подается на тележке и сбрасывается в жолоб, находящийся перед валками. Затем в гильзу вводится оправка, с помощью которой гильза раскатывается в валках периодического стана. Во время надевания на оправку гильза удерживается специальным шиббером, действующим от гидравлического цилиндра. В начальный момент производится раскатка (затравка) конца гильзы, после чего начинается прокатка с нормальными обжатиями. Число подач (ударов) при раскатке различно и зависит от разных условий; практически оно находится в пределах от 120 до 180, из них от 20 до 25% приходится на период заправки. Величина подачи в производстве труб разного размера и при валках различного диаметра колеблется в значительных пределах. Так, в случае прокатки труб диаметром 203 мм (8 дюймов) при валках диам. 600 мм подача равна 12 мм, а при валках диам. 750 мм подача равна 25 мм.

Соотношение между размерами готовой трубы, гильзы и слитка принимаем приблизительно следующее:

1) между размерами готовой трубы и гильзы:

$$D_r = (1,05 \div 1,08) D_{г.}$$

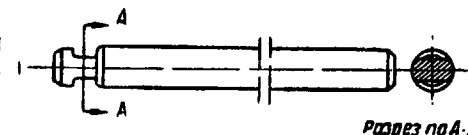


Рис. 258. Оправка

где  $D_r$  — внутренний диаметр гильзы;  
 $D_r$  — внутренний диаметр трубы;

2) между наружным ( $D'_r$ ) и внутренним диаметрами гильзы:

$$D'_r = (1,4 \div 1,5) D_r;$$

3) между средним диаметром слитка ( $D_c$ ) и наружным диаметром гильзы:

$$D_c = (1,02 \div 1,05) D'_r.$$

В табл. 86 приведены заводские данные, характеризующие эти соотношения.

Продолжительность прокатки на периодическом стане трубы, например 8-дюймовой, составляет около 4 мин., из них 70% падает на самый процесс прокатки, а 30% — на вспомогательные операции. За время прокатки температура металла нормально понижается с 1150 до 900°. За 8-часовую смену прокатывается 1400—1500 м труб диаметром 8 дюймов.

Прокатка на периодическом стане производится не до конца трубы, часть ее остается недокатанной и наравне с передним концом (затравкой) обрезается на пиле, отдельной для каждой клетки. Пилы применяются салазковые с дисками диам. 1800 мм. Этими же пилами трубы режут пополам, если это необходимо. После обрезки трубы взвешиваются на специальных весах, затем поступают в подогревательную печь (если они должны предварительно пройти через горячую калибровку и правку) или прямо на холодильник. Нормальная длина труб равна 12 м, поэтому подогревательная печь имеет ширину около 13 м и длину пода 7—8 м. Температура нагрева трубы в печи — около 900°.

Трубы калибруют на реверсивном стане с валками дуо диам. 700—800 м, приводимыми в движение мотором мощностью около 200 л. с. Калибровка делается в три пропуска; перед каждым из них труба поворачивается на 90°.

После калибровки труба правится в горячем состоянии на специальном правильном станке с гиперболическими валками, расположенными под углом и приводимыми от индивидуальных моторов мощностью около 60 л. с. каждый. Труба получает поступательное и вращательное движения, что благоприятствует правке.

Пройдя калибровочный стан, трубы поступают на наклонный холодильник с цепями и пальцами; постепенно передвигаясь, трубы охлаждаются.

После этого трубы проходят отделочные операции.

Прокатка труб на автоматических станах. На этих станах прокатываются трубы диам. 40—450 мм, с наименьшей толщиной стенки 3 мм. Процесс складывается из двух основных операций: 1) получения гильзы из катаной заготовки и 2) раскатки гильзы в готовую трубу. В этих установках на прошивной стан падает подавляющая часть общего объема деформирования заготовки

Таблица 86

Наименование труб	Номинальный диаметр труб		Готовая труба				Гильза				Слиток			Коэффициент расхода слитков
	дюйм	мм	наружный диаметр, мм	внутренний диаметр, мм	толщина стенок, мм	длина, м	вес, кг	наружный диаметр, мм	внутренний диаметр, мм	толщина стенок, мм	длина, м	вес, кг	длина, мм	
Нефтепроводные . . .	5	127	141	131	5	19,5	328	210	138	36	2550	385	220/210	1,177
Обсадные . . . . .	5	127	141	127	7	12	278	210	138	36	2230	338	220/210	1,216
Нефтепроводные . . .	6	152	169	157	6	19,5	470	260	166	47	2260	555	280/265	1,181
Бурильные . . . . .	6	152	169	147,2	10,9	15,5	660	280	158	61	2370	800	300/285	1,212
Нефтепроводные . . .	8	203	219	203	8	19,5	810	320	220	50	2860	950	340/325	1,173
Муфтовые . . . . .	8	203	237	209	14	13	1000	320	220	50	3550	1180	340/325	1,180
Обсадные . . . . .	10	255	273	255	9	24	1410	400	272	64	3150	1660	420/405	1,177
Муфтовые . . . . .	10	255	289	260	14,5	14,4	1410	400	272	64	3150	1660	420/405	1,177
То же . . . . .	12	305	327	308	9,5	24	1790	447	327	60	3700	2058	475/460	1,170
	16	406	426	404	11	24	2702	605	440	82,5	2910	3172	625/610	1,178

в трубу, вследствие чего металл при прошивке заготовки испытывает значительные напряжения. Поэтому при прокатке на автоматических станах в качестве исходного материала применяется катаная круглая заготовка высокого качества. Диаметр заготовки близок к наружному диаметру готовой трубы.

Для прошивки заготовки применяются станы с валками трех основных типов: 1) грибовидными, 2) дисковыми и 3) бочкообразными.

Грибовидные валки в горизонтальной плоскости устанавливаются под углом  $30^\circ$ , в вертикальной под углом  $7\frac{1}{2}^\circ$  к оси

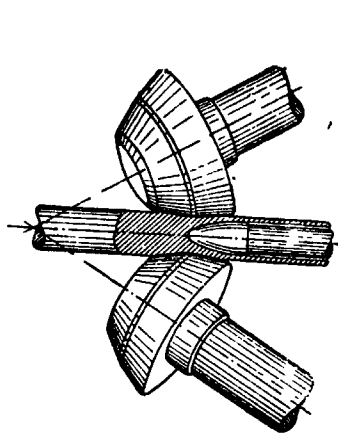


Рис. 259. Прошивной стан с грибовидными валками

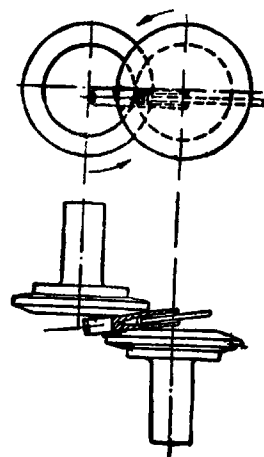


Рис. 260. Прошивной стан с дисковыми валками

прокатки (рис. 259). Каждый валок имеет две конические поверхности в соответствии с двумя основными зонами деформации.

Дисковые валки (рис. 260) насаживаются на два параллельных вала, вращающихся в одном направлении. Ось прокатки в вертикальной плоскости смещена на 50 мм ниже осей валков. Как и грибовидные, дисковые валки имеют по две конические поверхности, которые и являются рабочими поверхностями в процессе прошивки.

Бочкообразные валки (рис. 261) располагаются в вертикальной плоскости также под углом к оси прокатки. Угол наклона таких валков делается переменным.

Для правильного направления заготовки во время прокатки в грибовидных и дисковых валках применяются неподвижные вкладыши. С задней стороны стана устанавливается пробка на стержне, который удерживается в упорном подшипнике.

В установках с автоматическим станом прокатка производится в следующем порядке (рис. 262). Заготовка, нагретая до  $1250^\circ$

$1280^\circ$ , выдается из печи и по наклонному стеллажу попадает в приемный желоб прошивного стана, в валки которого она подается толкателем. После прошивки в валках стержень, на котором крепится пробка, оттягивается, благодаря чему гильза попадает на наклонные стеллажи, подающие ее к следующему агрегату — автоматическому стану. Для подготовки к прокатке новой заготовки пробка, оставшаяся между валками, убирает-

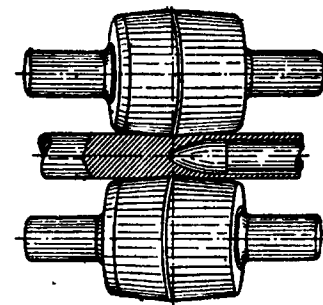


Рис. 261. Прошивной стан с бочкообразными валками

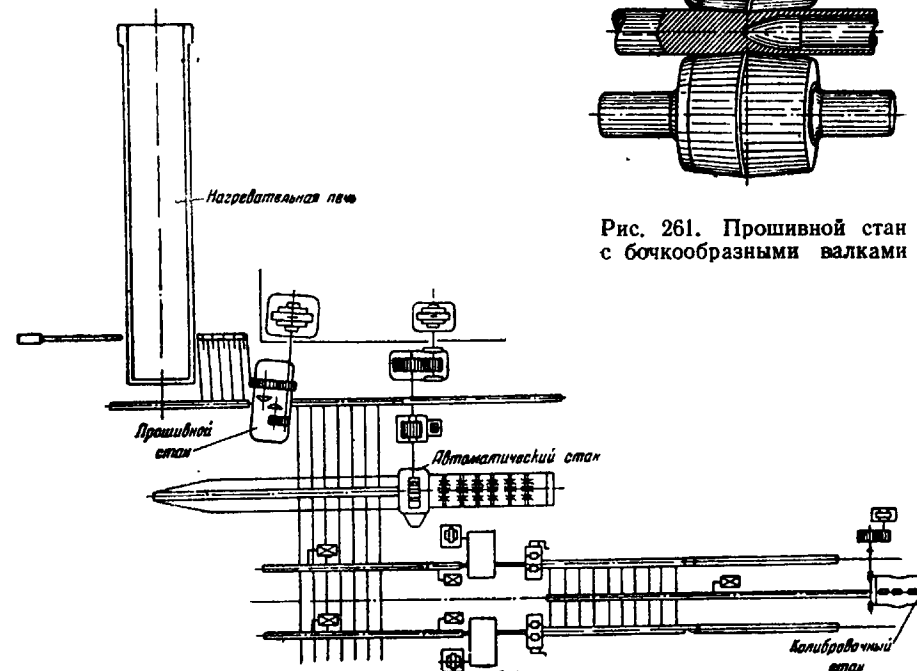


Рис. 262. Расположение автоматического стана

ся, стержень возвращается в начальное положение, и на него надевается пробка; после этого стан готов для принятия новой заготовки.

За прошивкой следует раскатка гильзы в трубу на автоматическом стане. Это — обычный стан дуо с валками диам. 550—965 мм. Валки имеют ряд круглых калибров, число которых зависит от длины бочки валков и диаметра прокатываемых труб. Например, при длине бочки валка 1600 мм можно иметь 10—12 калибров для труб диам. 50—115 мм и 5 калибров для труб диам. 125—200 мм. Верхний валок автоматического стана работает с подъемом, осуществляемым вручную штурвалом на малых станах и от пневматического цилиндра — на более крупных станах. Уравновешивание

верхнего вала — грузовое, пружинное или гидравлическое. Число оборотов валков колеблется от 60 до 120 в минуту. Валки приводятся от моторов мощностью 800—2000 л. с.

С передней стороны автоматического стана имеется передвижной стол с приемным желобом и вталкивателем, действующим от пневматического цилиндра. Прошита гильза попадает в приемный

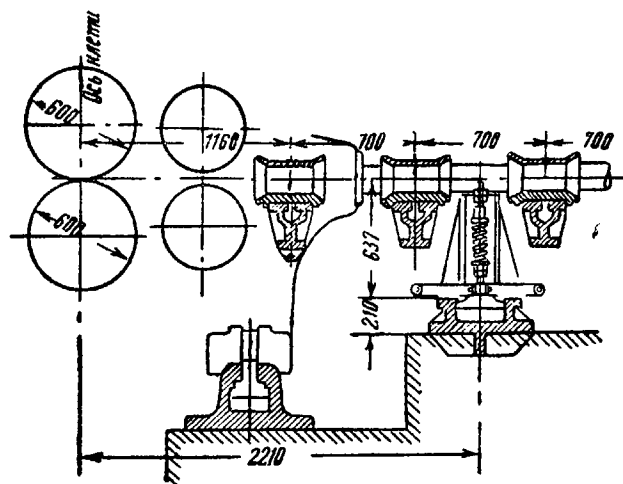


Рис. 263. Проводка автоматического стана

желоб и вталкивается в тот калибр валков, против которого устанавливается передвижной стол. В калибр вставляется пробка на длинном стержне (10—11 м), задний конец которого крепится в специальной станине. Для предотвращения изгиба стержень проходит через специальные проводки (рис. 263).

Прокатка на автоматическом стане обычно ведется в два пропусков. После каждого пропуска труба передается на переднюю сторону, что осуществляется посредством роликов обратной подачи, находящихся на задней стороне стана (рис. 264). Приводным делается только верхний ролик, нижний — холостой — движется за счет трения. В момент прокатки (рис. 264, а) ролики образуют трубы из валков нижний ролик поднимается воздушным диллиндром, вследствие чего труба тотчас же начинает двигаться в обратную сторону, прижимаясь снизу и сверху к тому и другому роликам (рис. 264, б). При этом верхний валок также поднимается примерно на 40 мм. После первого пропуска труба в приемном желобе кантуется на 90°, верхний валок и нижний ролик становятся на свои места, на стержень надевается новая пробка, и начинается второй пропуск.

После прокатки в автоматическом стане труба получается слегка овальной формы (рис. 265), разностенной и с недостаточно гладкой поверхностью. По выходе из автоматического стана она направляется в раскатную машину, которая представляет собой стан дуо с гладкими валками, вращающимися в одну сторону и наклоненными под углом около 6° к вертикальной плоскости. Таким образом, по устройству раскатная машина напоминает прошивной стан. Между валками вставляется пробка на стержне, который

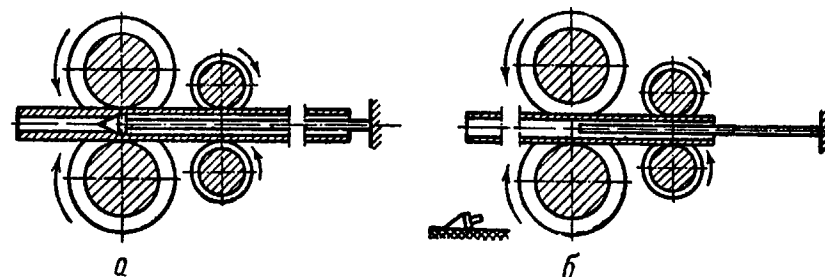


Рис. 264. Ролики обратной подачи

аналогичен по конструкции стержням, применяемым на станах для прошивки заготовок. Перед поступлением трубы в валки раскатной машины стержень подается к валкам, и на него надевается пробка. Труба входит в промежуток между валками и начинает

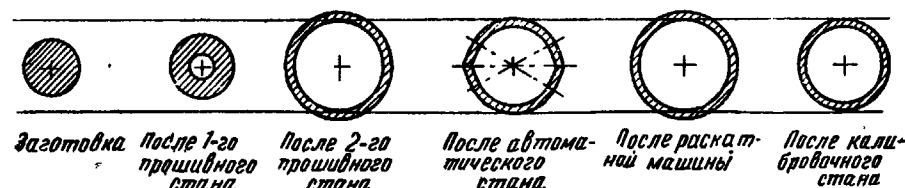


Рис. 265. Изменение профиля трубы при прокатке в установке с автоматическим станом

вращаться с большой скоростью (около 6 м/сек) вместе со стержнем. Одновременно с этим труба постепенно подвигается вперед. В результате раскатки на раскатной машине труба претерпевает следующие изменения: 1) улучшаются ее внутренняя и наружная поверхности, 2) устраняется овальность, 3) устраняется разностенность, 4) увеличивается диаметр на 5—7 мм, 5) уменьшается длина.

Для придания трубе хорошей поверхности валки раскатной машины изготавливаются из закаленного чугуна. Обычно с одним автоматическим станом работают две раскатные машины.

После обкатки на раскатной машине труба освобождается от стержня и поступает в калибровочный стан для получения окончательных размеров. От рольгангов каждой раскатной машины идут наклонные стеллажи, по которым трубы скатываются на рольганги, подающие их в валки калибровочного стана. Этот стан состоит из трех или пяти непрерывных клеток дуо с валками диам. 400—500 мм. Оси валков в каждой клетке взаимно параллельны и расположены под углом  $45^\circ$  к горизонту, причем положение угла

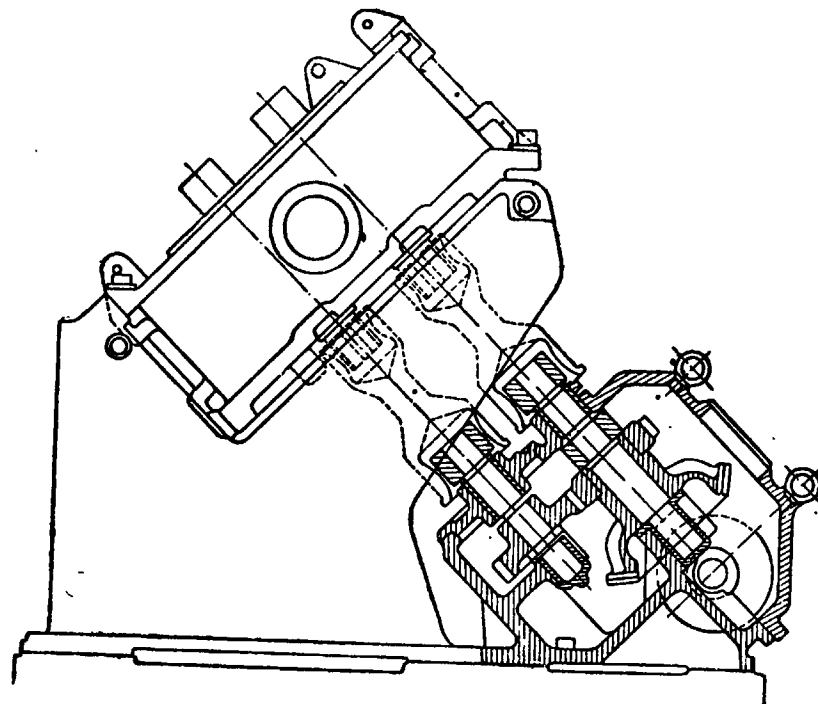


Рис. 266. Калибровочный стан

наклона в каждой клетке поочередно меняется (рис. 266), так что оси валков двух соседних клеток образуют между собой угол в  $90^\circ$ .

Валки калибруют таким образом, что в последней клетке калибр имеет форму правильного круга, в предыдущих же клетках калибры делаются с небольшим развалом. В калибровочном стане диаметр трубы уменьшается на 3—7 мм, а длина ее соответственно увеличивается.

Отдельные размеры трубы в различных стадиях производства их приведены в табл. 87.

Схемы производственного процесса при прокатке труб на автоматических станах различны и зависят от размеров и качества прокатываемых труб. Прежде чем рассматривать

схемы прокатки труб, остановимся на подготовке исходного материала, т. е. круглой заготовки.

На современных установках применяется круглая заготовка диам. 70—350 мм, которая получается из слитков крупного веса (до 6,5 т) путем прокатки их на блумингах и специальных заготовочных станах. Заготовка диам. 70—120 мм в большинстве случаев прокатывается с двух нагревов, более крупная — с одного. Для прокатки заготовок диаметром до 150 мм применяются станы трио или последовательные, а для прокатки заготовок

Таблица 87

	Наружный диаметр мм	Внутренний диаметр мм	Толщина стенки мм	Длина мм	Вес кг	Коэффициент расхода металла
Заготовка . . . . .	70	—	—	1125	34	
Прошивной стан (гильза) . . . . .	74	62	6	3280		
Автоматический стан	69	63	3	6700		
Раскатная машина	74	68	3	6200		
Калибровочный стан	70	64	3	6750		
Готовая труба . . . .	70	64	3	6000	29,8	1,141
Заготовка . . . . .	85	—	—	1110	49,6	
Прошивной стан . . .	88	74	7	3440		
Автоматический стан	82	76	3	8150		
Раскатная машина	87	81	3	7750		
Калибровочный стан	83	77	3	8150		
Готовая труба . . . .	83	77	3	7400	43,7	1,133
Заготовка . . . . .	95	—	—	1480	82,5	
Прошивной стан . . .	102	86	8	4300		
Автоматический стан	94	87	3,5	10200		
Раскатная машина	99	92	3,5	9600		
Калибровочный стан	95	88	3,5	10200		
Готовая труба . . . .	95	88	3,5	9200	72,6	1,136
Заготовка . . . . .	120	—	—	2280	202	
Прошивной стан . . .	122	100	11	6500		
Автоматический стан	113	96	8,5	9500		
Раскатная машина	118	102	8	9000		
Калибровочный стан	114	98	8	9500		
Готовая труба . . . .	114	98	8	8500	177,8	1,136
Заготовка . . . . .	150	—	—	1580	219,3	
Прошивной стан . . .	160	136	12	5000		
Автоматический стан	150	135	7,5	8350		
Раскатная машина	160	145	7,5	7820		
Калибровочный стан	153,3	138,3	7,5	8200		
Готовая труба . . . .	152	137	7,5	7000	186,9	1,173

больших диаметров — реверсивные дуо в одну клетку с диаметром валков до 950 мм. В некоторых случаях заготовка крупных диаметров ( $> 200$  мм) прокатывается непосредственно на блумингах. После прокатки заготовку в холодном состоянии осматривают для обнаружения поверхностных дефектов. В некоторых случаях (например, для легированной стали) приходится заготовку предвари-

тельно подвергать травлению для снятия окалины, после чего заготовка зачищается для удаления дефектов. Часто эта операция выполняется на специальных станках для сплошной обдирки заготовки. На каждом таком станке можно обточить до 1000 т заготовки в сутки.

По описанной выше схеме производства труб все операции выполняются с одного или двух нагревов. Так, трубы малых диаметров с первого нагрева прошивают и раскатывают на автоматическом стане и на раскатной машине; после этого трубы подогревают и пропускают через редукционный стан. При прокатке труб диам. 180 мм и выше для прошивки заготовок применяются два прошивных стана с валками бочкообразной формы. На такой установке прокатывают трубы диаметром от 100 до 450 мм из заготовок диам. 115—350 мм, нагреваемых в двух трехзонных нагревательных печах с шагающим подом, имеющим размеры  $25,3 \times 6,6$  м. У первого прошивного стана диаметр валков равен 1070—1170 мм. Валки, приводимые в движение от синхронного мотора 5000 л. с., делают 71 оборот в минуту. О массивности оборудования этого стана дает представление вес станины, равный 119 т. Второй прошивной стан по конструкции подобен первому, но имеет валки диаметром 1170—1270 мм. На первой клети заготовка прошивается, и получается гильза с толстой стенкой. Так, при прокатке трубы с наружным диаметром 178 мм и толщиной стенки 9,5 мм из заготовки диам. 140 мм после первого стана получается гильза  $\varnothing 157 \times 31,7$  мм, после второго —  $\varnothing 181 \times 12,7$  мм. Таким образом, задача второго стана заключается не только в том, чтобы уменьшить толщину стенки, но и в том, чтобы увеличить наружный диаметр трубы. При этом применяются пробки с двумя конусами; на первом из них труба расширяется до необходимого диаметра, на втором — полируется ее поверхность. Далее следует прокатка в автоматическом стане, раскатка на раскатной машине и калибровка на калибровочном стане. Перед раскаткой или перед калибровкой труба подогревается.

Для получения труб диаметром больше 450 мм применяется операция расширения, которая выполняется на специальном стане с коническими валками, образующими с осью прокатки угол  $60^\circ$ . Порядок операций при прокатке труб, например, диам. 610 мм такой. На первом прошивном стане заготовка диам. 280 мм прошивается в гильзу  $\varnothing 330 \times 40$  мм. На втором прошивном стане диаметр гильзы увеличивается до 400 мм, а толщина стенки уменьшается до 16 мм, после чего гильза прокатывается на автоматическом стане до диаметра 380 мм и толщины стенки 14 мм. Затем труба вторично нагревается и прокатывается в расширительном стане; при этом наружный диаметр увеличивается до 604 мм. После этого труба проходит через калибровочный стан и получает окончательные размеры — диаметр 610, толщину стенки 8 мм.

Производительность автоматических станов колеблется в сле-

дующих пределах: установка для прокатки труб  $\varnothing 40$ —115 мм — 60 тыс. т в год, для труб  $\varnothing 76$ —203 мм — 150 тыс. т в год и для труб  $\varnothing 127$ —355 мм — 300 тыс. т в год.

Прокатка труб на непрерывных станах. В этой установке прокатываются трубы с наружным диаметром от 57 до 110 мм и с минимальной толщиной стенки 3 мм. Исходным материалом для прокатки труб на таких станах служит катаная заготовка диам. 90—140 мм. Прокатка труб на этих установках складывается из трех

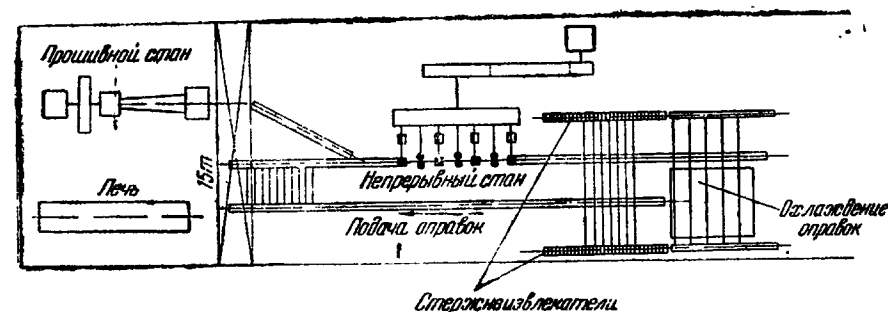


Рис. 267. Расположение установки с непрерывным станом

основных операций: 1) прошивки заготовки в гильзу на прошивном стане, 2) раскатки гильз в трубу на непрерывном стане, 3) окончательной прокатки на редукционном стане.

Для непрерывной прокатки труб применяются станы двух типов. Стан первого типа (рис. 267). Стан имеет 7 пар последовательно расположенных валков — четыре пары горизонтальных

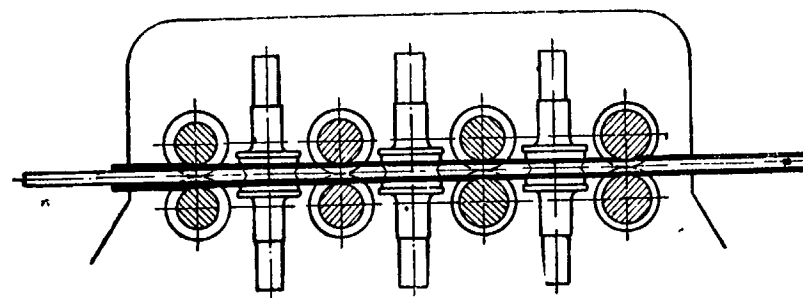


Рис. 268. Непрерывный стан

и три пары вертикальных. Все валки располагаются в двух станинах (рис. 268) и приводятся от одного мотора мощностью 2000 л. с. через сложную систему шестеренных передач.

Диаметр отдельных пар рабочих валков при прокатке труб разных размеров изменяется в пределах 300—390 мм. Скорость

прокатки составляет примерно 0,4 м/сек для первой клетки и около 2 м/сек для последней.

Прокатка на непрерывном стане производится на стержне, на который надевается гильза, поступающая из прошивного стана. Чтобы облегчить удаление стержня из трубы после прокатки, ее предварительно смазывают смесью из графита, олеонафта и мадчи.

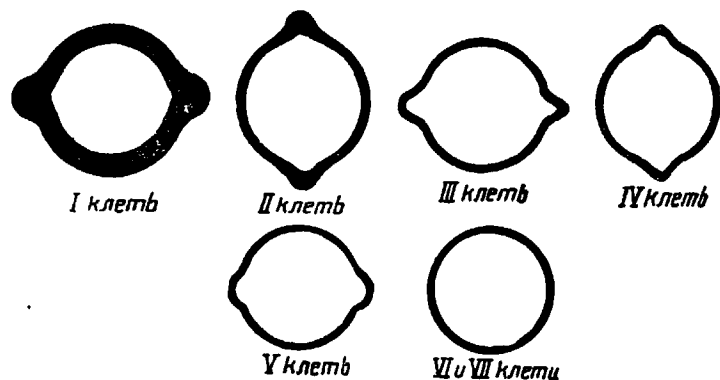


Рис. 269. Последовательное изменение формы трубы в валах непрерывного стана рис. 268

Труба, прокатываемая на стержне, обжимается попеременно горизонтальными и вертикальными валками, т. е. направление обжатия после каждой клетки изменяется на 90° (рис. 269). Размер заготовок и соответствующие им размеры гильз и готовых труб приведены в табл. 88.

Таблица 88

Диаметр заготовки мм	Г и л ь з а			Т р у б а	
	наружный диаметр мм	толщина стенки мм	внутренний диаметр мм	толщина стенки	
				от	до
90	82—86	12—11	57	3,25—4	12
120	116—122	16—18	82	3,25—3,5	11
130	128—130	16—20	94	3,50—3,75	16
140	140—146	18—20	110	3,75—4	20

Прокатка в стане протекает быстро — в течение всего 7—9 сек. Температура металла изменяется примерно в следующих пределах: нагретая заготовка 1100—1250° прошивная гильза 1020—1170°, прокатанная труба 820—970°. Более высокие температуры относятся к мягкой стали, более низкие — к крепкой.

После прокатки стержень извлекается из трубы на специальном стержнеизвлекателе (4 на рис. 267), состоящем из тележки, которая на самом конце имеет клещи, захватывающие конец стержня, а на другом — крюк, соединяющийся с цепью Галля.

Стержень протягивается сквозь кольцо, диаметр которого больше диаметра стержня, но меньше диаметра трубы; благодаря этому стержень при извлечении свободно проходит сквозь кольцо, а труба задерживается.

Стержни после извлечения имеют температуру около 300° и поэтому поступают на стеллажи для охлаждения, а затем передаются на переднюю сторону стана для повторной работы. Труба после освобождения от стержня поступает для обрезки разлохмаченного конца к пиле, затем к печи редуccionного стана, так как температура ее падает ниже 500°.

Описанный непрерывный стан имеет ряд преимуществ — высокую производительность (процесс прокатки длится короткое время) и низкие расходные коэффициенты металла, энергии и инструмента. Однако недостатки стана — сложность конструкции и трудность настройки — препятствовали широкому его распространению.

В отличие от предыдущего стана, на котором труба обжимается в четырех местах, на стане второго типа труба обжимается в восьми местах, что достигается специальным расположением валков каждой клетки по отношению к предыдущей.

Ось валков первой клетки образует с горизонтом угол в 22½°. Следующие три клетки (№ 2, 3 и 4) располагаются под углом 90° одна к другой, т. е. ось валка в клетке № 3 совпадает с осью валков клетки № 1, и ось валков клетки № 4 — с осью валков клетки № 2. Клетки № 5 и 6 располагаются под углом 45° к клетке № 4 и под углом 90° одна к другой. Далее оси валков клеток № 7 и 9 совпадают с осью валков первой клетки, а клетка № 8 — с осью валков клетки № 2. Схема расположения осей валков показана на рис. 270. Таким образом, в этом стане имеется всего 9 клеток: валки каждой из них приводятся от индивидуальных моторов.

Схема технологического процесса на этом стане такая же, как на предыдущем стане: 1) получение гильзы из заготовки, 2) надевание гильзы на стержень, 3) прокатка на непрерывном стане, 4) извлечение стержня, 5) пропуск трубы через калибровочный стан, 6) нагрев трубы и прокатка на редуccionном стане.

Стержень извлекается во время передачи трубы по рольгангу от непрерывного стана к калибровочному стану; специальные ролики зажимают конец стержня в тот момент, когда труба захватывается валками калибровочного стана.

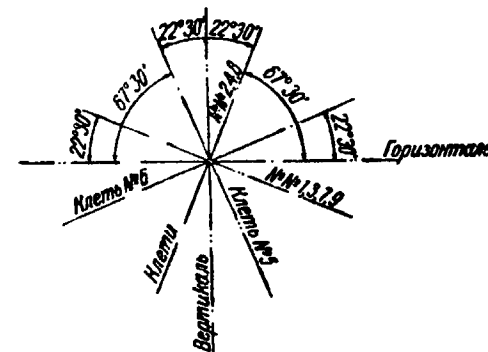


Рис. 270. Схема расположения осей валков в непрерывном стане второго типа



**Прокатка бесшовных труб в двух станах кривой вальцовки.** В прошивных станах прокатываемая гильза поддерживается холостыми валками или неподвижными проводками, вследствие чего развивается сильное трение, особенно при работе с проводками. Трение препятствует получению гильзы с тонкими стенками.

В рассматриваемом стане, помимо косых валков, имеются еще диски большого диаметра (рис. 271), скорость вращения которых больше скорости вращения косых валков. Благодаря этому диски не только поддерживают гильзу во время прокатки, но и способствуют значительному удлинению ее.

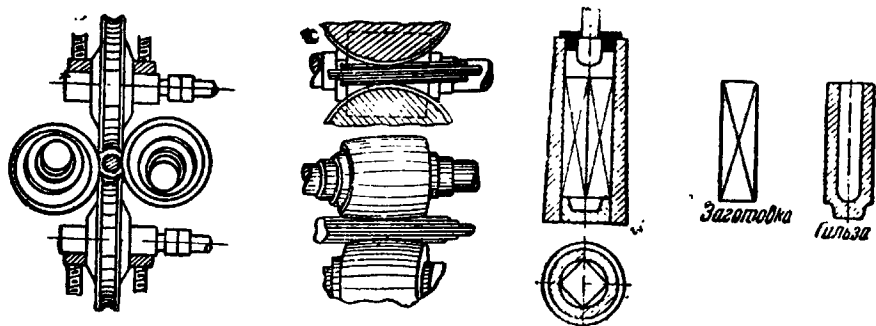


Рис. 271. Стан для прокатки бесшовных труб

Рис. 272. Прошивка заготовки на прессе

После прошивки на первом стане гильза поступает для раскатки на второй такой же стан, отличающийся от первого только тем, что прокатка на нем производится на стержне, диаметр которого на 1,5—3 мм меньше внутреннего диаметра трубы. Здесь увеличивается диаметр, уменьшается толщина стенки и значительно увеличивается длина трубы. Благодаря действию вращающихся дисков труба, которая на станах кривой вальцовки принимает овальную форму, на этом стане получается цилиндрической и без разностенности. После прокатки труба по рольгангу подается к стержневизвлекателю, затем на холодильник или к редуционному стану.

На этих станах прокатываются трубы диам. 40—220 мм.

**Производство труб на речном стане.** Производство труб на этой установке включает следующие основные операции: 1) изготовление гильзы, 2) протяжку гильзы в трубу и 3) отделку трубы. Труба получается такая же как и на ранее рассмотренных установках, но метод ее изготовления совершенно иной. Гильза прошивается не на стане, а на прессе, причем получается не сквозная, а в виде полого тела. Затем, для получения трубы гильза протягивается, а не раскатывается, как при изготовлении труб описанными выше методами.

Исходным материалом для производства труб на речном стане служит катаная квадратная заготовка. Заготовка длиной около 3,5 м нагревается в печи до 900°, откуда поступает к пиле для резки на части требуемой длины, которые вновь нагреваются до температуры прошивки—1250°. Прошивка производится на вертикальных и на горизонтальных прессах мощностью около 700 т, при давлении воды в 200 ат.

Нагретую квадратную заготовку вставляют в круглую матрицу (рис. 272) с диаметром, приблизительно равным диагонали квадрата заготовки. Затем пуансоном прошивают заготовку, получая в результате короткую гильзу с дном. Гильза передается для протяжки на речной стан.

Устройство речного стана схематически показано на рис. 273. Стан имеет следующие основные части: 1) станину, в которой

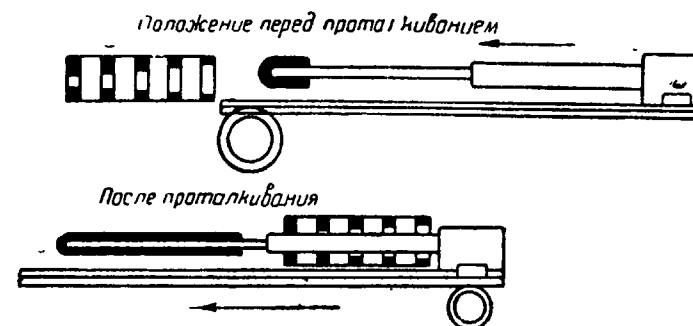


Рис. 273. Схема речного стана

установлены кольца для протяжки и поддерживания гильзы с оправкой, 2) зубчатую рейку, приводимую в движение от мотора мощностью 1200 л. с. через шестеренную передачу, 3) штангу, передвигаемую рейкой и несущую оправку с гильзой. Работа на речном стане ведется следующим образом. Гильза надевается на оправку, которая присоединяется к штанге, после чего рейка передвигает оправку вместе с гильзой через протяжные кольца. После прохода всей гильзы через последнее кольцо движение рейки автоматически прерывается, оправка с гильзой снимается и поступает на раскатную машину. После этого зубчатая рейка возвращается в исходное положение для принятия следующей гильзы.

Протяжка ведется таким образом, что труба одновременно деформируется только в двух кольцах, реже — в трех. Средняя вытяжка металла в одном кольце составляет 1,1—1,2, причем от первых колец к последним она постепенно снижается. Для примера приведем схему протяжки трубы с наружным диаметром 100 мм и с толщиной стенки 3 мм из заготовки сечением 140 × 140 мм и длиной 358 мм. Наружный диаметр гильзы равен

около 185 мм. Протяжных колец устанавливается 21, поддерживающих — столько же. Таким образом, среднее уменьшение наружного диаметра около 4 мм, наибольшее 6 мм, наименьшее 1,5 мм (в последнем кольце).

При обкатке трубы на раскатной машине (рис. 274) диаметр ее увеличивается на 0,5—1 мм, благодаря чему ее можно без затруднения снять с оправки. Для этого оправка с гильзой пропускается между роликами, вращающимися в разные стороны. Верхний ролик давлением сжатого воздуха прижимается к оправке,

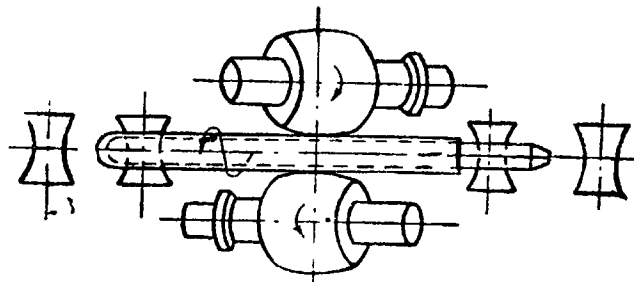


Рис. 274. Обкатка трубы на раскатной машине

которая начинает двигаться вперед, а гильза задерживается упором. После снятия гильзы с оправки донышко отрезается пилой, и труба направляется в калибровочный стан, а затем — на стеллажи для охлаждения.

Преимуществами реечного стана по сравнению с другими установками для производства труб считаются: 1) возможность получать трубы из менее качественного материала, 2) более высокий выход годного и 3) более низкие первоначальные затраты. Но все же этот метод считается устаревшим, а новые установки с реечными станами не строятся.

Производительность реечного стана при производстве труб диам. 60—220 мм около 50 тыс. т в год.

**Уменьшение размеров бесшовных труб после горячей прокатки.** Рассмотренные методы горячей прокатки бесшовных труб применяются для получения их с наименьшим диаметром 40—60 мм и наименьшей толщиной стенки около 3 мм. В промышленности часто требуются трубы с меньшими размерами — до минимальных размеров диаметра 3 мм и толщины стенки 0,5 мм. Таким образом, приходится изменять диаметр и толщину стенки прокатанной трубы. Для этого применяют несколько способов: 1) редуцирование, 2) холодное волочение и 3) холодную прокатку.

**Редуцирование труб.** Этот метод применяется для уменьшения диаметра труб при оставлении толщины стенки почти неизменной. Процесс редуцирования заключается в том, что труба, будучи нагрета до температуры около 1000°, пропускается че-

рез валки так называемого редуционного стана, состоящего в большинстве случаев из 10—24 непрерывных клеток дуо. Валки имеют постепенно уменьшающиеся калибры овальной формы с разницей в размерах осей около 10%. Труба обжимается попеременно с двух сторон, иначе говоря, направление обжимающей силы в каждой последующей клетке меняется на 90° по отношению к направлению ее в предыдущей клетке. Труба кантоваться не должна, поэтому оси валков располагаются так, что составляют между собой угол 90° и с уровнем пола цеха — угол 45° (рис. 275). Валки

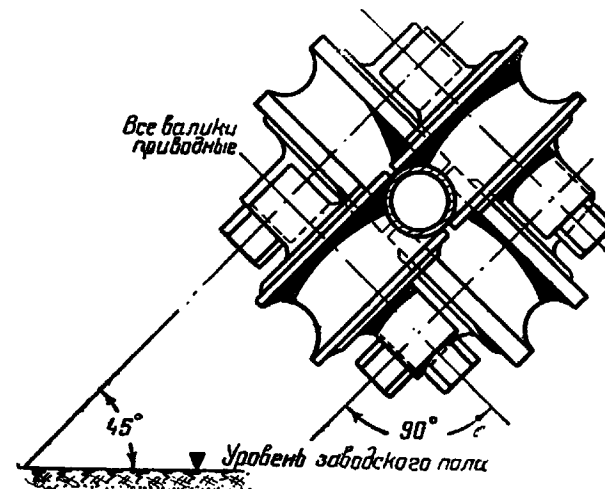


Рис. 275. Валки редуционного стана

редуционных станов располагаются в клетях консольно (рис. 276, а) или с опорными шейками, находящимися по обе стороны бочки валков (рис. 276, б). Диаметр валков в зависимости от размеров прокатываемых труб равняется 300—700 мм. Скорость прокатки 1,0—1,5 м/сек. Валки приводятся либо от одного мотора, общего для всех клеток, либо от нескольких моторов, отдельных для каждой клетки.

Редуцирование производится без оправки, поэтому толщина стенки несколько увеличивается; но так как стан непрерывный, то прокатка производится с небольшим натяжением, которое частично препятствует утолщению стенки. Последние две клетки — калибровочные.

Размеры исходной и конечной труб зависят от числа клеток в редуционном стане. Практическая величина среднего обжатия по диаметру за один пропуск составляет 3—3,5% для толстостенных труб и около 4,5% для тонкостенных. Если стан имеет, например, 8 клеток, то при прокатке толстостенных труб с средним коэф-

коэффициентом вытяжки 1,035 (обжатие 3,4%) общий коэффициент вытяжки составляет:

$$1,035^{18} = 1,85.$$

При 24 клетях этот коэффициент равен около 2,30. Следовательно, из трубы диам. 60 мм за 18 пропусков можно получить трубу с диаметром 32,5 мм, или, округленно 33 мм.

Следует отметить, что до недавнего времени уменьшение диаметра труб производилось путем горячего волочения через кольцо

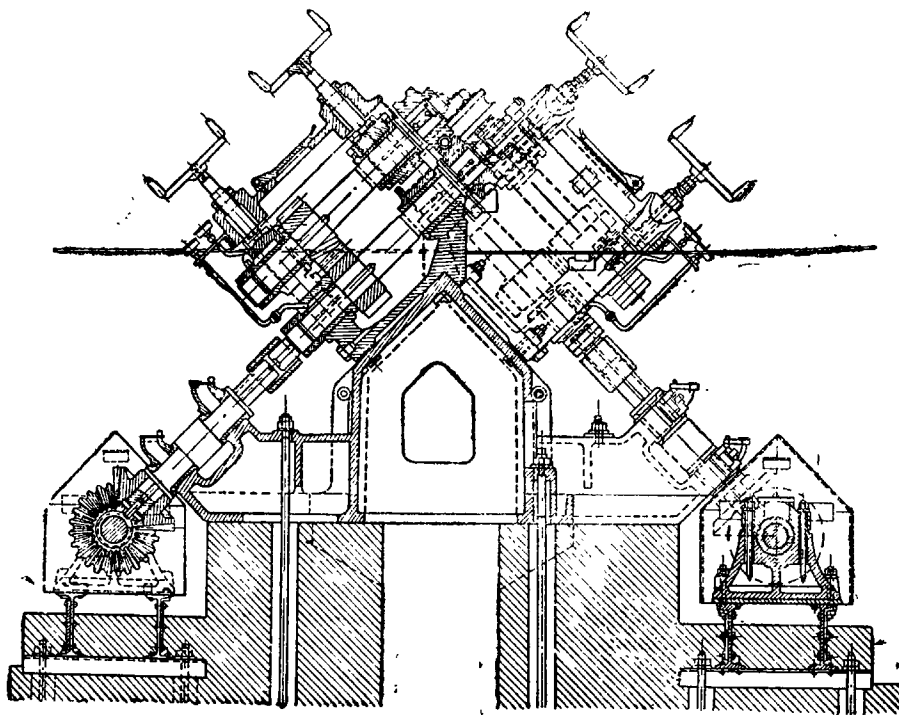


Рис. 276а Редукционный стан с консольными вальками

без оправки. Этот способ теперь почти повсюду оставлен, так как он малопроизводителен и неэкономичен.

Холодное волочение применяется для уменьшения как диаметра, так и толщины стенок труб. В соответствии с этим различают: 1) волочение без оправки, или волочение давлением для уменьшения только диаметра (рис. 277, а), 2) волочение на длинной оправке, если необходимо уменьшить главным образом толщину стенки (рис. 277, б), и 3) волочение на пробке для уменьшения и диаметра трубы и толщины ее стенок (рис. 277, в). Умень-

шение размеров и сечения труб при разных способах волочения приведено в табл. 89.

Таблица 89

	Уменьшение в процентах		
	наружного диаметра	толщины стенки	сечения трубы
Первый метод . . . . .	До 50	Увеличивается	До 20
Второй " . . . . .	10—25	10—25	30—80
Третий " . . . . .	5—35	7—20	12—45

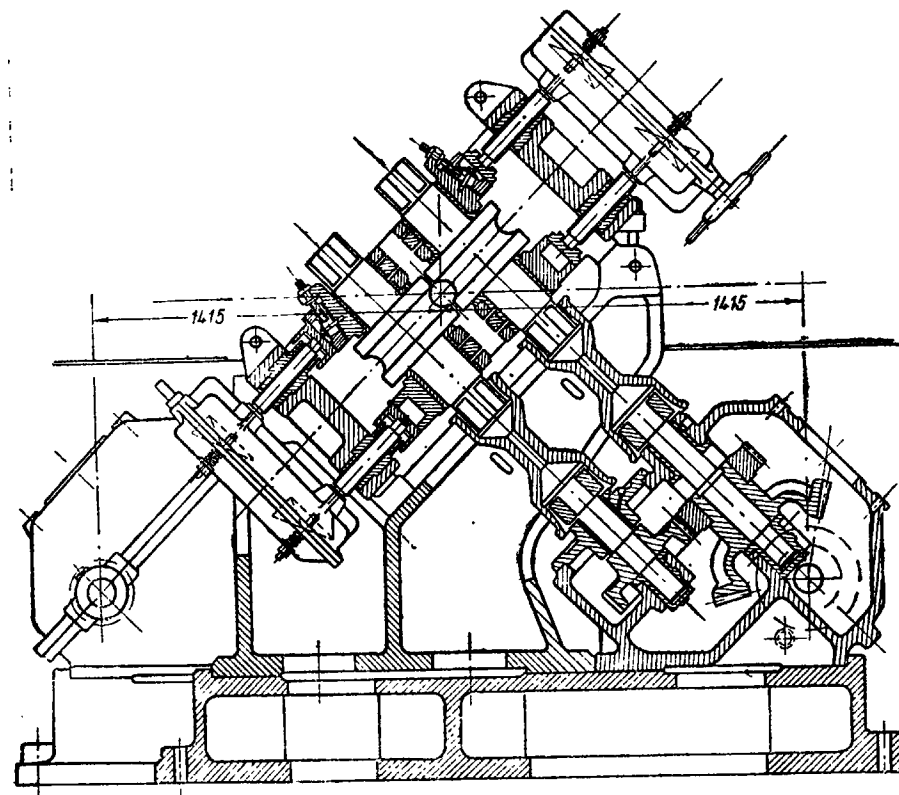


Рис. 276б. Редукционный стан с обычными клетями

До начала холодного волочения как таковой трубы должны пройти ряд подготовительных операций. На волочильных станках можно выпускать трубы длиной 6—7 м. Поэтому первой операцией

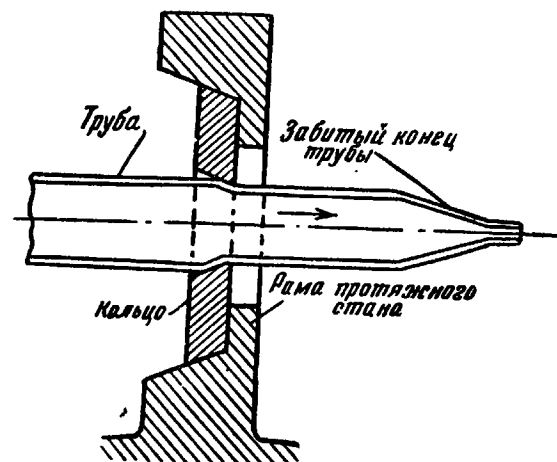


Рис. 277а. Холодное волочение без оправки

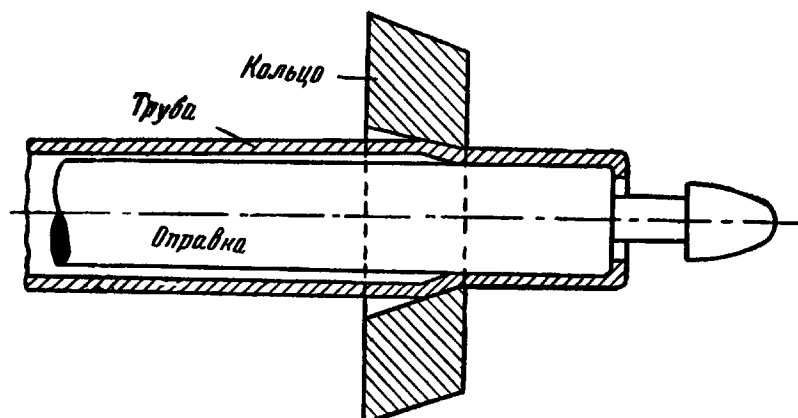
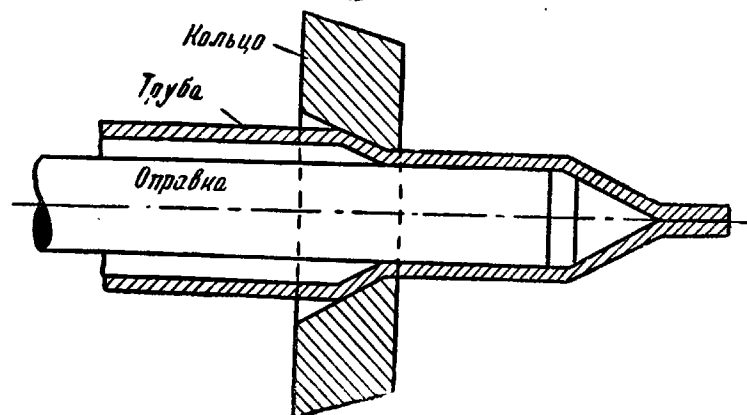


Рис. 277б. Холодное волочение на длинной оправке



является разрезка труб на 2—3 части пилой. Далее, чтобы облегчить протягивание переднего конца через кольцо, необходимо забить его. Для этого конец нагревают в горне и сплющивают под молотом. Затем трубы травят, промывают и омедняют или подвергают известкованию. Последние две операции применяются для облегчения процесса протяжки, так как благодаря им снижается коэффициент трения. После всех этих операций трубы сушат и промасливают.

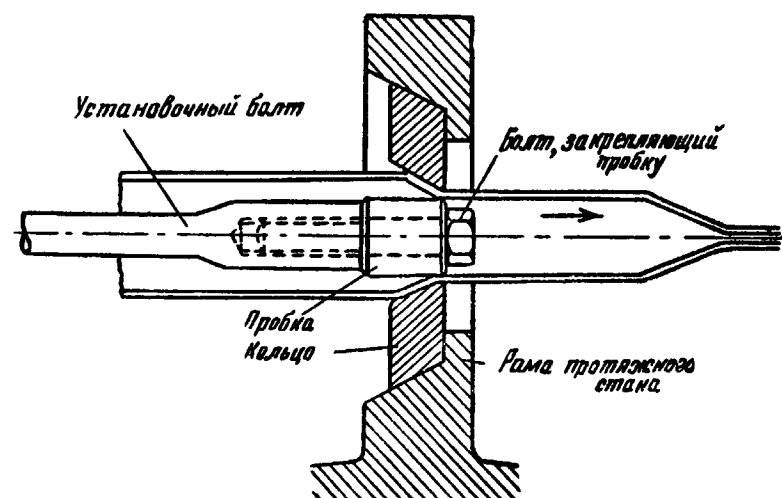


Рис. 277в. Холодное волочение на пробке

Волочение производят на цепных станах. Передний конец трубы пропускается сквозь кольцо и зажимается клещами, которые вместе с тележкой присоединяются к цепи стана крюком. Пробка вводится в трубу чаще всего вручную. Для протяжки труб на длинной оправке волочильный стан снабжается механизмом ввода оправки в трубу. По окончании волочения труба плотно охватывает оправку, поэтому трубу обкатывают на специальной обкаточной машине с косыми валками, затем передают на станок для извлечения оправки.

Далее трубу отжигают для уничтожения наклепа, полученного металлом при протяжке. Если трубы подвергаются многократному волочению (до 10—15 проходов), то производят еще промежуточные отжиги, за которыми вновь повторяют операции травления, промывки, омеднения и сушки, а иногда резки и подбивки конца.

Холодную прокатку труб стали применять совсем недавно — в 1932 г. Она производится на станах периодической прокатки. Принцип работы этого стана основан на том, что клеть

с валками надвигается на неподвижную трубу с оправкой и обжимает ее. Валки для этого стана изготавливаются с вставными половинками (рис. 278), имеющими калибры с постепенно уменьшающимся по окружности валка диаметром, соответствующим размеру задаваемой трубы в начальной точке и готовой трубы в конечной. Кроме того, в валках имеются вырезы, дающие воз-

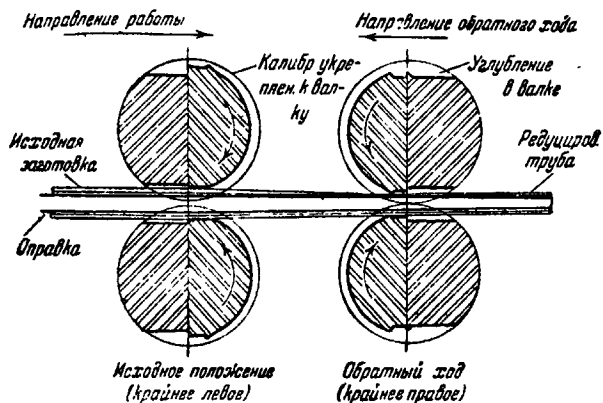


Рис. 278. Стан для холодной прокатки труб

можность подавать трубу вперед и поворачивать на угол для уменьшения эксцентricности.

Движение клетки к валкам сообщается от кривошипно-шатунного механизма, вращающего шестерни, которые находятся на одной оси с валками и связаны с неподвижными зубчатыми рейками, расположенными с обеих сторон клетки.

Перед прокаткой трубу надевают на оправку цилиндрической формы с конусным концом, длина которого соответствует длине окружности калибра. При движении клетки вперед (на рис. 278 вправо) валки, вращаясь, захватывают часть металла и по мере уменьшения диаметра калибра (оправки) обжимают его. Таким образом происходит: 1) уменьшение диаметра трубы, 2) уменьшение толщины стенки и 3) увеличение длины в сторону движения клетки. В крайнем положении клетки труба находится между вырезами валков и кантуется на угол 60—90°. После этого клеть совершает возвратное движение в исходное положение, во время которого валки вращаются, чтобы занять начальное положение. В этот момент труба, находясь между другими вырезами, подается вперед. Дальше процесс повторяется.

Характеристика брака бесшовных труб. Наиболее характерный вид брака бесшовных труб — разностенность, получающаяся при прошивке заготовок и при раскатке гильз в трубу. Причины разностенности: 1) неравномерный нагрев,

вследствие чего получается разная вытяжка отдельных мест слитка при прошивке и гильзы при раскатке; 2) неправильная настройка валков с перекосом оси прошивки; 3) эксцентричная установка пробки, кривизна стержня; 4) неодинаковый износ вкладышей.

Овальность труб получается в результате неправильной калибровки валков и настройки стана и несоответствия размеров гильзы заданной трубе. Труба может получаться овальной при неправильной установке заднего жолоба раскатного стана.

«Гармошка» образуется при несоответствии размеров гильзы и пробки в автоматическом стане, несогласованности скоростей в клетях непрерывного стана и изношенности оправок в станах периодической прокатки.

Сетка получается при значительном износе калибров валка.

Бугры при прокатке образуются из-за слишком большой подачи.

Нарушение размеров. Трубы могут получиться с меньшей или большей толщиной против заданной, длиннее или короче, чем требуется. Если в автоматический стан поступает гильза с диаметром, большим необходимого, то при прокатке получается брак, носящий название «зажима», или «бунта». Это не что иное, как заусенцы, аналогичные тем, которые образуются в случае прокатки с излишним количеством металла при задаче.

Расход металла при производстве бесшовных труб. На установке с периодическими станами металл в большинстве случаев поступает в виде слитков, реже — в виде заготовки, на остальных же станах трубы изготавливаются исключительно из заготовки. В табл. 90 приведены данные о расходе металла на разных станах для производства различных труб.

Таблица 90

Виды труб	Периодические станы (слитки) т	Станы Штифеля (заготовка) т	Непрерывные станы (заготовка) т
Бурильные . . . . .	1,526	1,273	—
Обсадные . . . . .	1,335	—	—
Нефтепроводные и паропроводные . . . . .	1,221	—	—
Дымогарные, кипящие и жаровые . . . . .	—	1,180	1,185
Насосно-компрессорные . . . . .	—	1,237	—
Автомоторные . . . . .	—	1,181	—

Примечание. Приведенные данные относятся к прокатке труб без последующего редуцирования. С учетом этого последнего расход металла повышается на 1,5—2%.

### 3. Производство сварных труб

Введение. Сварные трубы изготавливаются путем свертывания полосы соответствующих размеров в трубу и последующей сварки мест соединения краев полосы, где образуется сварочный

шов. Наличие сварочного шва понижает прочность труб. Кроме того, при пользовании сварочным методом производства труб невозможно изготовлять их из твердых углеродистых и легированных сталей. В этом заключаются недостатки сварных труб по сравнению с бесшовными.

Наряду с этим сварные трубы имеют и преимущество, заключающееся в дешевизне их; там, где не требуются высокие качественные показатели, сварные трубы вполне могут конкурировать с бесшовными. Этим объясняется тот факт, что, невзирая на более чем 50-летнее существование метода получения труб без шва, производство сварных труб до сих пор еще держится на сравнительно высоком уровне.

Для производства сварных труб применяются следующие методы сварки: 1) печная внакладку, 2) печная встык, 3) печная по методу непрерывной сварки, 4) электрическая, 5) водяным газом, 6) автогенная.

Исходным материалом для производства сварных труб служит плоская заготовка — сортовая и листовая, в зависимости от рода станов, на которых она прокатывается. Сортовая заготовка в большинстве случаев прокатывается на специальных непрерывных станах. Ширина ее достигает 305 мм, толщина — 15,0 мм. Сортовая заготовка выпускается в виде нарезанных полос, длиной около 6 м или в рулонах.

Листовая заготовка прокатывается на толстолистовых, среднелистовых и универсальных станах и нарезается на ножницах.

Производство сварных труб внакладку включает следующие основные операции: 1) получение трубной заготовки путем свертывания плоской заготовки, 2) сварку трубы, 3) калибровку и правку, 4) отделку.

Первая операция выполняется путем протяжки нагретой до  $900\text{—}1000^\circ$  заготовки сквозь воронку специальной формы (рис. 279а), в которой полоса постепенно формируется в круглую заготовку, причем один край полосы перекрывает другой на некоторую величину (рис. 279б). Для облегчения свертывания полосы в воронку вставляется пробка.

Круглые заготовки поступают в печь трубопрокатного стана, где располагаются швом кверху и нагреваются по три одновременно до температуры сварочного жара ( $1300\text{—}1350^\circ$ ). Нагретая заготовка прокатывается и одновременно сваривается на стане дуо с валками диам. 800 мм, приводимыми в движение от электромотора через шестеренную клеть. Валки имеют один или два круглых калибра, в зависимости от размера труб. Диаметры калибров соответствуют наружным диаметрам труб. Внутренний диаметр трубы образуется пробкой, которая вставляется в калибр и удерживается на длинном стержне. Стан располагается очень близко к выдающему окну печи. Конец заготовки сначала вводится в проводку, затем захватывается и прокатывается валками. Поэтому шов заготовки попадает между верхним валком и пробкой,

где подвергается большому давлению при высокой температуре, благодаря чему происходит его сварка.

Обычно заготовку пропускают 2—3 раза через валки, подогривая ее в печи перед каждым пропуском. Понятно, что для наилучшей сварки шва заготовка должна быть нагрета до возможно высокой температуры. При недостаточном нагреве заготовки шов плохо обжимается и сваривается, причем труба может

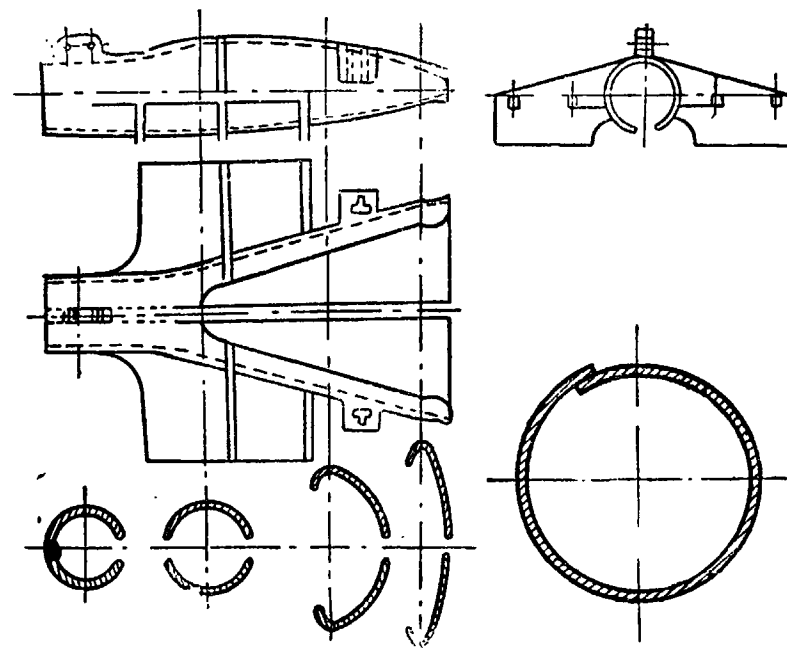


Рис. 279а. Воронка для свертывания заготовок

Рис. 279б. Трубная заготовка

сесть на пробку. После каждого пропуска пробка снимается и заменяется другой, большего диаметра, стержень оттягивается механической болтотаскалкой, и труба, повернутая в горизонтальной плоскости на  $180^\circ$ , направляется на переднюю сторону печи для подогрева.

Внакладку изготавливаются трубы диаметром от 57 до 325 мм ( $2\frac{1}{4}\text{—}12\frac{3}{4}$  дюйма) с толщиной стенки  $2\frac{1}{2}\text{—}20$  мм. Трубы диаметром от 57 до 180 мм после прокатки протягиваются в горячем состоянии через калибровочные кольца.

Следующая операция после прокатки — правка труб для выпрямления и уничтожения овальности. Это осуществляется на станке с косыми валками, имеющими форму гиперболоида. Труба

получает вращательное и поступательное движение, благодаря чему принимает правильную цилиндрическую форму и достаточно выпрямляется. Труба пропускается через станок три раза, после чего поступает на холодильник, а затем в осмотр и отделку.

Производство сварных труб встык. Этим методом изготавливают сварные трубы диам. 3,2—51 мм ( $\frac{1}{8}$ —2 дюйма). Заготовки для труб сначала поступают к специальному прессу, на котором с одного конца обрезают углы (рис. 280) и самый

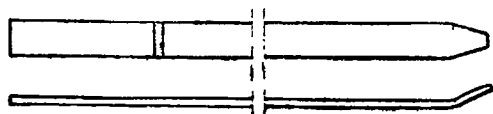


Рис. 280. Заготовка для сварки трубы встык

конец загибается несколько кверху. Это делается для облегчения захвата заготовки клещами при выдаче из печи. Далее заготовки нагреваются в печи до температуры 1300—1350° и протягиваются сквозь воронку волочильного станка, по конструкции аналогичного стану для свертывания листов в заготовку при производстве труб внакладку. Сварщик клещами захватывает заготовку за обрезанный конец, надевает на клещи воронку, вкладывает ее затем в волочильную доску и присоединяет клещи к движущейся цепи Галля. При производстве очень мелких труб (диаметром меньше 12,7 мм) вместо клещей применяют круглые стержни, которые привариваются к загнутым концам заготовок. Перед сваркой кромки заготовки обдуваются воздухом. Трубы свариваются встык в один или два прохода. После сварки трубы проходят через калибровочный станок дуо, а затем поступают на холодильник, за которым установлены две пилы для обрезки концов.

Производство сварных труб на непрерывном стане. Схема установки для производства сварных труб этим методом показана на рис. 281. Исходным материалом для получения труб служит лента, смотанная в рулоны. Ленты сначала поступают на разматыватель, за которым устанавливается роликовая правильная машина для правки ленты. Следующий агрегат — сварочный аппарат для приварки конца рулона к концу предыдущего, причем концы предварительно обрезаются на ножницах. За сварочным аппаратом имеется петлеобразователь, накапливающий петлю такой длины, которая необходима для питания печи в то время, когда свариваются концы.

Далее лента проходит через газовую нагревательную печь длиной около 40 м при ширине, несколько большей наиболее широкой заготовки, и высоте около 350 мм. Газовые горелки установлены на боковых сторонах печи — по 140 на каждой. До сварочного жара нагреваются только кромки, середина же заготовки прогревается настолько, чтобы можно было свернуть заготовку в трубу.

По выходе из печи кромки обдуваются воздухом от особого аппарата, после чего заготовка проходит последовательно шесть пар валков: первая пара — формовочная, вторая — сварочная, остальные — редуccionные.

После выхода из последней пары валков пила отрезает трубу требуемой длины.

Пила передвигается вдоль движущейся трубы с тем, чтобы можно было производить резку на ходу.

Как видно из приведенного описания, процесс производства труб на этой установке протекает непрерывно, поэтому производительность здесь достигает значительных величин — от 42 до 150 тыс. т в год. Меньшая производительность относится к трубам диаметром 9,5—76 миллиметров, большая — к трубам диаметром 25—102 миллиметров.

Электросварка труб. Электросварка труб получила распространение, начиная с 1922 г., хотя первые опытные установки для этой цели появились раньше (1900 г.). Значительное развитие этого метода объясняется следующими его преимуществами перед другими способами производства сварных труб:

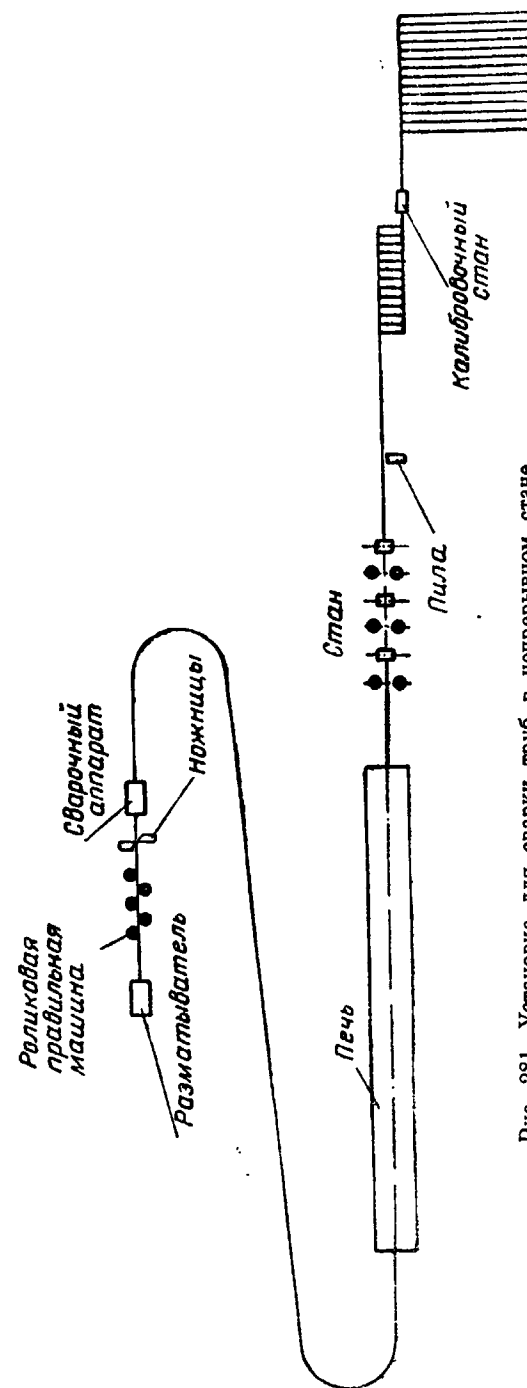


Рис. 281. Установка для сварки труб в непрерывном стане

1) возможность получения труб не только из мягкой, но и из крепкой стали;

2) возможность получения труб любой длины;

3) возможность получения труб с более тонкой стенкой при одинаковых диаметрах;

4) сварной шов получается чистым, так как он не окисляется и не покрывается шлаком.

Существует три метода электросварки труб: 1) индукционный, 2) дуговой и 3) сопротивления. Наибольшее распространение имеет последний метод.

Электросваркой изготавливаются трубы диам. 4,7—660 мм ( $\frac{3}{16}$ —26 дюймов) с минимальной толщиной стенки 0,4 мм.

Исходным материалом для электросварных труб служит холоднокатаная лента (для малых размеров) или листовая заготовка (для крупных размеров). Материал предварительно очищают для удаления с поверхности ржавчины, грязи и окалины, для обеспечения хорошего качества сварки. Лента подвергается травлению, у листовой заготовки после правки обрезают боковые кромки на дисковых ножницах для получения точной ширины. Кроме того кромки должны быть простроганы.

Процесс получения электросварных труб включает следующие основные операции: 1) формовку трубы, 2) сварку, 3) снятие наплыва металла и 4) правку с калибровкой. Для формовки труб применяются непрерывные станы дуо с числом клеток от 5 до 12, в зависимости от размеров труб. Меньшее число клеток применяется в производстве тонкой ленты. В некоторых случаях для формовки труб наиболее крупных размеров применяют прессовое оборудование. При формовке труб из ленты рулоны сначала укладываются на разматыватель, затем на сварочном агрегате приваривается передний конец следующей полосы к заднему концу предыдущей.

Калибровка формовочных валков показана на рис. 282, а общий вид всего стана на рис. 283. За формовочными валками располагается сварочный аппарат в виде вращающихся роликов с электродными кольцами (рис. 284). При проходе через сварочный аппарат труба снизу поддерживается вертикальными роликами, а сверху прижимается электродными кольцами настолько, что кромки смыкаются. В этот момент образуется замкнутая цепь тока, вследствие чего металл трубы нагревается до температуры сварки, которая и осуществляется тотчас же. При

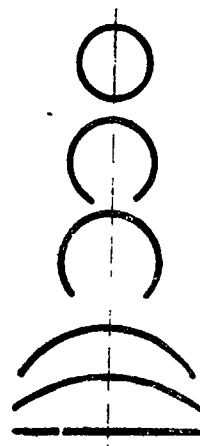


Рис. 282. Последовательное изменение заготовки в валках электросварочного стана

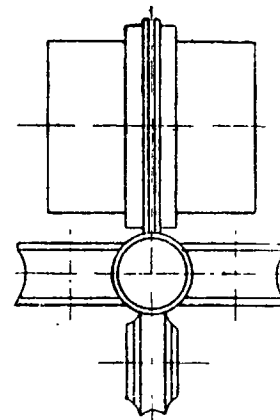


Рис. 284. Электросварочный аппарат

этом выжимается лишний металл, вследствие чего образуется наплыв, который удаляется резцом. Режим сварки можно регулировать изменением напряжения. Далее труба поступает в трехклетевый калибровочный стан дуо; по выходе из него труба разрезается на отрезки требуемой длины специальным аппаратом с резцами.

Расход заготовки при сварке встык газовых труб диам.  $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{8}$  дюйма — 1,213 кг; диам.  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  дюйма — 1,180 кг; диам. 1—2 дюйма — 1,160 кг; диам. 2 $\frac{1}{2}$  дюйма — 1,183 кг; при свар-

ке внакладку газовых труб диам. 2 $\frac{1}{2}$ —6 дюймов — 1,288 кг; дымогарных труб диам. 3—5 $\frac{1}{2}$  дюйма — 1,300 кг.

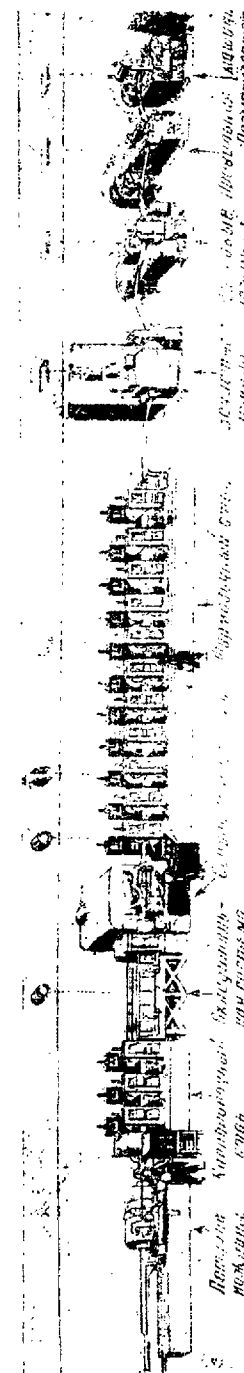


Рис. 283. Общий вид стана для электросварных труб



В предыдущих главах рассматривались методы производства отдельных видов проката и типы применяемых станков. В большинстве случаев прокатные цехи металлургических заводов имеют несколько прокатных станков. Конечно, рассмотреть все встречающиеся на металлургических заводах сочетания станков не представляется возможным из-за слишком большого разнообразия их. Поэтому ниже рассматриваются только типовые схемы.

Как было сказано в главе 1 (стр. 7) состав прокатного цеха зависит: 1) от сортамента выпускаемых изделий и 2) от объема производства. Эти же факторы влияют на выбор типов оборудования и методов технологического процесса.

Вопросы выбора сортамента готового продукта и объема производства для данного завода решаются различно в условиях социалистического и капиталистического хозяйства.

Для капиталистического предприятия имеет существенное значение концентрация возможно полного сортамента готового продукта на одном заводе, что объясняется стремлением обеспечить себя заказами при колеблющемся спросе рынка на тот или иной вид продукта. Такое положение заставляет иметь на одном заводе большой набор отделочных станков с производственной мощностью, превышающей мощность сталеплавильного и обжимного цехов. Подобное решение является вынужденным в условиях капиталистической конкуренции. Техничко-экономические вопросы прокатного производства решаются при этом неудовлетворительно, так как в связи с установкой большого числа отделочных станков увеличиваются капиталовложения, понижается использование станков и повышается себестоимость готового продукта. Ухудшению всех этих показателей способствует еще то обстоятельство, что каждый отделочный стан должен прокатывать профили весьма обширного сортамента, часто мелкими партиями.

В социалистических условиях вопросы сортамента и объема производства решаются иначе. Здесь не приходится рассматривать каждый завод в отдельности, так как все они входят в единый комплекс планируемого народного хозяйства. Поэтому нет необходимости концентрировать на каждом заводе полный сортмент готового продукта, напротив, предоставляется широкая возможность проведения специализации прокатных станков. Во всяком случае так решается этот вопрос для районов с развитой металлургией, каковыми у нас являются Юг и Урал. Только для заводов, расположенных в отдаленных металлургических районах,

приходится ставить вопрос о производстве проката с расширенным сортаментом.

При таких условиях создаются следующие преимущества: 1) повышается гибкость в маневрировании сортаментом при различных вариантах потребности в металле; 2) значительно увеличивается использование каждого прокатного стана, что приводит к уменьшению капиталовложений и к снижению себестоимости.

Сортмент готового продукта разбивается на основные группы, перечисленные в табл. 91.

Таблица 91

Группа	Подразделения в группе	Станы, на которых ведется прокат
Сортовой прокат	Рельсы железнодорожные	Рельсобалочные станы
	Балки, швеллеры и крупные профили	Универсальные балочные станы
Листовой прокат	Сортовой металл	Сортовые станы
	Проволока	Проволочные станы
Трубы	Заготовки для сварных труб	Ленточные станы
	Лента	Толстолистовые станы
Специальные виды проката	Толстые листы	Универсальные станы
	Универсальная сталь	Тонколистовые станы
	Тонкие листы	Станы для прокатки бесшовных труб
	Бесшовные трубы	Трубосварочные станы дуо
	Сварные трубы	Станы непрерывные
	Бандажи	Волоочильные станки
	Колеса	Электросварочные агрегаты
		Станки для газовой сварки
		Бандажные станы
		Колесопрокатные станы

Объем производства. Если с этой точки зрения рассматривать все заводы, где-либо существующие, то получим огромный диапазон в производительности, от нескольких тысяч до 4—5 млн. т в год. Объем производства прокатного цеха определяется, прежде всего, мощностью обжимных агрегатов и наличным числом их в цехе. Можно отметить следующие варианты цехов по объему производства.

Первый вариант. Прокатный цех имеет блуминг с валками диам. 1100 мм, на котором слитки весом 6—8 т обжимаются в блумы сечением 250 × 250 мм и слитки весом до 12 т — в слябы с наибольшей шириной до 1600 мм. Производительность блуминга по всаду составляет 1700 тыс. т в год.

Второй вариант. Прокатный цех имеет двухклетевой реверсивный блуминг с валками диам. 1100 и 900 мм. Вес слитков и размеры блумов и слябов — те же, что в первом варианте. Производительность по всаду 2700 тыс. т.

Третий вариант. Прокатный цех имеет слябинг с годовой производительностью 2000 тыс. т. Эти три варианта можно рассматривать как основные, отвечающие составу современного нормального металлургического завода большой производительности.

Прокатные цехи с производительностью меньшей, чем по перечисленным трем вариантам, могут иметь такие обжимные агрегаты:

1) блуминг 1000—1100 мм, прокатывающий слитки весом 4,5—6 т в бумы 200 × 200 мм, с годовой производительностью около 1200 тыс. т;

2) малый блуминг 800—900 мм, обжимающий слитки весом 2—5 т и бумы от 125 × 125 до 200 × 200 мм, с годовой производительностью от 300 до 1000 тыс. т;

3) обжимной стан трио 800 с одной или двумя клетями; в зависимости от размеров выпускаемых заготовок годовая производительность стана от 100 до 300 тыс. т.

В цехах с производительностью большей, чем по трем первым вариантам, обжимные агрегаты устанавливаются дублированными:

1) два одноклетевых блуминга 1100 мм с общей годовой производительностью 3400 тыс. т;

2) один одноклетевый блуминг 1100 мм и слябинг с общей годовой производительностью 3700 тыс. т;

3) двухклетевой блуминг 1100—900 мм и одноклетевый блуминг 1100 мм или слябинг с общей годовой производительностью 4400—4700 тыс. т;

4) та или иная комбинация из трех вышеуказанных основных агрегатов с годовой производительностью от 5000 до 6400 тыс. т.

Из приведенных здесь вариантов состава обжимно-заготовочных отделений прокатных цехов видно, что производительность по всаду может находиться в пределах 100—6400 тыс. т в год. Следует отметить, что мы исключаем из рассмотрения вариант цеха, в котором мелкие слитки весом 200—500 кг прокатываются прямо на отделочных станах. С другой стороны, имеются случаи, когда слитки сравнительно большего веса можно перерабатывать непосредственно на следующих станах:

1) толстолистовых трио Лаута или кварто, с одной или двумя клетями, прокатывающих обычные толстые листы;

2) толстолистовых кварто с большой длиной бочки валков (до 5500 мм), прокатывающих преимущественно броню из слитков весом до 250 т;

3) трубoproкатных; в этом случае вес слитка может достигать 3,5 т;

4) универсальных балочных, прокатывающих широкополочные балки из слитков весом до 20 т;

5) бандажeproкатных и колесoproкатных.

Все эти станы могут комплектоваться в виде самостоятельных цехов того или иного завода или входить в состав прокатного цеха совместно с другими обжимными и отделочными станами, увеличивая производительность цеха по всаду.

## 1. Выбор типов прокатных станов

При рассмотрении классификации прокатных станов кратко излагалось постепенное развитие типов их в отношении конструкции и расположения. В этом развитии могут быть отмечены две главные тенденции — увеличение производительности и повышение точности выпускаемых прокатных изделий.

Увеличение производительности шло за счет следующих основных факторов: 1) повышения скорости прокатки, 2) дифференциации производственного процесса на ряд отдельных стадий и 3) механизации вспомогательных операций. Скорость прокатки повышалась постепенно и в настоящее время достигла наибольших величин на непрерывных проволочных станах (20—23 м/сек.) и на непрерывных станах холодной прокатки (30 м/сек.). Можно считать, что дальнейшее повышение скорости прокатки ограничивается предельными углами захвата в станах с прерывным процессом прокатки.

Дифференциация производственного процесса шла в направлении увеличения числа линий и клетей в станах. Наибольшей степени дифференциация достигла в станах с последовательным расположением клетей, в которых прокатываемая полоса делает по одному пропуску в каждой клетке.

Повышение точности прокатки на разных станах осуществлялось различными путями. В качестве мероприятий, общих для всех станов, можно назвать следующие: 1) улучшение конструкции вкладышей валков, 2) усовершенствование конструкции клетей, 3) более точное изготовление деталей стана и 4) улучшение качества валков. Помимо этого, для повышения точности прокатки на сортовых станах перешли на укороченную бочку валков, на листовых станах — с клетей дуо и трио Лаута на клетки кварто.

Рассмотрим вопрос о выборе типа станов следующих категорий: 1) блумингов, 2) заготовочных, 3) сортовых и 4) листовых.

Блуминг и слябинг являются основными современными обжимными агрегатами для первичной обработки слитков. Они представляют собой дуо-реверсивные станы с валками, диаметр которых в установках большой мощности равен 1100—1150 мм и в особых случаях достигает 1370 мм. Для привода валков таких блумингов и слябингов все чаще применяют индивидуальные моторы в 5000 л. с. каждый. Станы с валками меньших размеров устанавливаются на заводах с ограниченным масштабом производства. Блуминги большой мощности в большинстве случаев работают как одноклетевые, но нередко встречаются установки в виде двух реверсивных клетей дуо, из которых первая имеет валки диаметром 1000—1100 мм, вторая — диаметром 900—800 мм. Блуминги с клетями дуо-нереверсивными для современных условий едва ли можно считать подходящими, так как при прокатке слитков больших размеров их установка была бы громоздкой.

Современный заготовочный стан представляет собой непрерыв-

ный стан дуо, состоящий из двух групп по 6 клетей в каждой. Наибольший диаметр валков современных станом первой группы достигает 720—800 мм. Наибольшее сечение исходного блума в этих станах 260×260 мм. Такие непрерывные заготовочные станы устанавливаются с блумингами большой мощности (диаметр валков 1100—1150 мм). При меньших относительно масштабах производства могут быть применены непрерывные заготовочные станы с одной группой из 6 и 8 клетей или станы трио, которые в таких случаях используются для прокатки как заготовки, так и сортового металла.

В группу сортовых станом могут быть включены: 1) рельсобалочные, 2) собственно сортовые станы, 3) ленточные и 4) проволочные. На данной ступени развития наиболее современным станом для прокатки всех крупных и средних профилей следует считать стан с последовательным расположением клетей. Во всяком случае для прокатки всех размеров, прокатываемых «полосой», вопрос решается путем установки станом этого типа и его разновидности — шахматных станом. Исключение составляют рельсобалочные станы, которые устанавливаются с двумя линиями — реверсивной дуо и трио. Хотя для прокатки рельсов стан с последовательным расположением клетей был установлен еще в 1909 г., однако, до сих пор, другой подобный стан нигде не установлен, очевидно, по причинам чисто экономического характера.

Для прокатки мелких сортов проволоки и ленты станом современного типа следует считать непрерывный. Станы линейного типа являются устаревшими, и новые станы такого типа устанавливать не следует. Полунепрерывные станы можно применять при ограниченном масштабе производства, когда значительное количество профилей выпускается малыми партиями. При больших масштабах производства следует устанавливать только специализированные сортовые станы — с последовательным расположением клетей и непрерывные, при малых и средних масштабах — комбинированные, составленные из станом обоих указанных типов.

Передовая практика производства листов всех размеров основывается на прокатке их на станах кварто, которые могут быть непрерывными, полунепрерывными, двухклетьевыми и одноклетьевыми. Станы двух первых типов (непрерывные и полунепрерывные) применяются для прокатки листов до наибольшей ширины 2200 мм. Листы с большей шириной — до 4800 мм максимум — прокатываются на одноклетьевых реверсивных станах кварто с наибольшей длиной бочки валков 5500 мм. Типовой непрерывный листовой стан состоит из 10 рабочих клетей кварто, в которых сляб делает по одному пропуску. Во многих случаях целесообразна установка полунепрерывных листовых станом, в которых черновая клеть представляет собой листовой стан кварто, работающий как самостоятельный при прокатке толстых листов и как черновой — при прокатке тонких и средних листов. В последнее время имеется тенденция устанавливать на толстолистовых станах вертикальные

валки для предупреждения образования складок на боках, что дает экономии металла при резке.

Станы дуо и трио Лаута могут применяться только для производства небольших масштабов.

## 2. Расположение станом в цехе

Расположение станом на разных заводах весьма разнообразно, что обуславливается рядом причин технического и организационного порядка. Часто такое разнообразие вызывалось тем, что прокатный цех или стан строился как добавочный к существующему на территории завода, если же места не оказывалось, то новый цех или стан строили на отдельной территории. Если подобного рода обстоятельства исключить и рассматривать вопрос только с точки зрения организационно-технической, то можно выделить два основных варианта структуры прокатных цехов: 1) с совместным и 2) с раздельным расположением обжимно-заготовочных и отделочных станом. По первому варианту поток металла от поступления слитков в цех до отправки готового продукта территориально идет без разрыва и прокатный цех представляет собой единый комплекс из обжимно-заготовочных и отделочных станом, разделенных складом заготовок. Последний является как бы связующим звеном между двумя отделениями, непосредственно примыкающими к нему с обеих сторон. Склад заготовок принимает полупродукт от обжимных и заготовочных станом и после соответствующей подготовки передает его на отделочные станы. По второму варианту станы располагаются в двух цехах: блуминги (или слябинги) и заготовочные станы — в обжимно-заготовочном цехе, отделочные — в другом цехе, где полупродукт прокатывается в готовые изделия. Полупродукт передается из одного отделения в другое на железнодорожных платформах. Подобная структура прокатного цеха часто встречается в США. На всех наших новых заводах прокатные цехи имеют структуру по первому варианту, по которому все станы — и обжимно-заготовочные и отделочные — располагаются в одном цехе. Такую структуру имеют прокатные цехи заводов Магнитогорского, Кузнецкого, Макеевского и «Запорожсталь». Подобным же образом решен вопрос и для других вновь строящихся цехов на заводах Криворожском, Ново-Тагильском, «Азовсталь» и др.

Первый вариант структуры прокатного цеха имеет несомненное преимущество перед вторым, так как устраняет необходимость в применении железнодорожного транспорта. Кроме того, склад полупродукта по первому варианту получается единым, по второму же варианту склад делится на две части, что вносит добавочные организационные осложнения. Если крановый транспорт всего металла на складе недостаточен, то часть металла при расположении оборудования по первому варианту можно передавать платформами из одного пролета в другой. Эти передачи отдель-

ных партий полупродукта, здесь же на месте, конечно, нельзя сравнить с транспортировкой всего металла из одного цеха в другой, который производится по второму варианту.

### 3. Примеры структуры прокатных цехов

Рассмотрим три варианта состава прокатных цехов, резко различные по характеру установленных в них станов. По первому варианту — так называемому «сортовому» — в отделочной части цеха устанавливаются исключительно сортовые станы, по второму варианту — «листовому» — в цехе устанавливаются только листовые отделочные станы и по третьему варианту — «смешанному» — устанавливаются разные отделочные станы.

Первый вариант цеха представлен на рис. 285. Обжимно-заготовочное отделение имеет блюминг с валками диам. 1100 мм, прокатывающий слитки весом до 8 т в блюмы сечением  $260 \times 260$  мм, и непрерывный заготовочный стан с двумя группами по 6 клетей. В первой группе диаметр валков равен 750 мм в первых двух клетях и 630 мм в остальных четырех, во второй группе — 450 мм во всех клетях. Из первой группы получают квадратные заготовки  $200 \times 200$ ,  $150 \times 150$ ,  $120 \times 120$  мм и плоские до  $275 \times 75$  мм, из второй группы квадратные заготовки  $90 \times 90$ ,  $70 \times 70$  и  $55 \times 55$  мм. Все заготовки поступают на общий склад, состоящий из трех пролетов шириной каждый 31,5 м в осях подкрановых путей. Производительность отделения по всаду равна 1700 тыс. т в год.

Отделочных станов имеется пять: шахматный стан 350 мм производительностью 450 тыс. т в год, второй шахматный 300 мм производительностью 250 тыс. т, ленточный 300 мм производительностью 200 тыс. т, непрерывный сортовой 250 мм производительностью 200 тыс. т, непрерывный проволочный стан 250 мм производительностью 250 тыс. т.

Общая производительность всех станов 1350 тыс. т. Описание станов приведено было выше, поэтому здесь не повторяется. Все станы примыкают к складу заготовок, куда выходят загрузочные рольганги нагревательных печей. Склад готового продукта — общий для всех станов — состоит из трех пролетов по 31,5 м каждый. Для погрузки металла в склад входят 7 железнодорожных путей, на которых можно поставить одновременно 63 вагона (по 9 вагонов на каждый путь).

Все отделочные станы располагаются таким образом, что между ними остаются два промежутка для шоссейных и сквозных железнодорожных путей. Для этого шахматные станы 350 и 300, а также станы 250 сгруппированы по два, стан 300 ленточный, расположен отдельно.

На рис. 286 показано расположение цеха по «листовому» варианту. В качестве обжимного агрегата здесь принят слябинг с годовой производительностью по всаду 2 млн. т. Все слябы

поступают на склад, расположенный так же, как и по первому варианту, т. е. поперек общего направления потока металла. Отделочных станов здесь два: 1) непрерывный листовой стандартного типа в составе 10 клетей кварто с длиной бочки валков 2000 мм, выпускающий листы толщиной 2—6 мм, и 2) толстолистовой стан в составе двух клетей — реверсивной дуо и реверсивной кварто; длина бочки валков — 3000 мм. Годовая производительность соответственно равна 900 и 400 тыс. т. Каждый стан располагается в отдельных зданиях с самостоятельным складом готового продукта.

План прокатного цеха по третьему варианту показан на рис. 287. Он включает всего 4 стана:

- 1) блюминг с двумя реверсивными клетями 1100 и 900 мм с годовой производительностью по всаду 2700 тыс. т;
- 2) рельсобалочный стан 800 с годовой производительностью 800 тыс. т;
- 3) сортовой стан 550 с годовой производительностью 450 тыс. т;
- 4) непрерывный листовой стан с длиной бочки валков 1500 мм, с годовой производительностью 700 тыс. т.

Блюминг прокатывает слитки весом до 8 т в блюмы и до 12 т в слябы. Из первой клетки выпускаются блюмы сечением около  $450 \times 450$  мм, которые во второй клетке прокатываются до окончательных размеров (от  $200 \times 200$  до  $300 \times 300$  мм). Часть слябов выпускается непосредственно первой клетью.

Рельсобалочный стан имеет две линии: обжимную реверсивную дуо 900 и чистовую трио 800.

Крупносортовый стан является неизбежной принадлежностью рельсобалочного цеха, так как на нем приходится перерабатывать слитки некондиционных плавок. Он состоит из 7 клетей, из которых первая — трио с валками диам. 700 мм; в ней блум делагет от одного до семи пропусков. Остальные клетки — дуо с валками диам. 550 мм.

Непрерывный листовой стан — стандартного типа, имеет 10 клетей кварто.

В этом цехе склад заготовки — общий для всех станов — состоит из трех пролетов. Склады готового продукта — отдельные для каждого стана.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иг. М. Павлов, Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ОНТИ НКТП, 1938.
2. С. И. Губкин, Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947.
3. А. И. Целиков, Прокатные станы, Металлургиздат, 1946.
4. А. П. Виноградов, Калибровка прокатных валков, Харьков, ГНТИ, 1934.
5. Ю. М. Чижиков, Прокатка и ковка высоколегированных сталей, Металлургиздат, 1941.
6. Я. С. Гинцбург, Термомеханическая обработка высоколегированной стали и сплавов, ОНТИ НКТП, 1937.

7. Г. М. Гильман, Нагревательные колодцы блумингов и крупных прокатных станов, ОНТИ НКТП, 1936.
8. Н. К. Котов, Прокатка и отделка листовой стали, Metallurgizdat, 1940.
9. Е. С. Рокотян, В. А. Шваюв и А. Н. Ирошников, Непрерывные листовые станы, ОНТИ НКТП, 1939.
10. Б. С. Шапиро, Прокатка тонких качественных листов, ОНТИ НКТП, 1938.
11. Ф. Л. Панасенко, Прокатка сортовой и листовой автотракторной стали, Харьков, ГНТИ, 1935.
12. Ф. Л. Панасенко, Холодная прокатка тонколистовой стали. Харьков, ГНТИ, 1937.
13. Блуминг, слябинг, ножницы и устройства для уборки блумов и слябов, под редакцией инж. А. В. Истомина, ОНТИ НКТП, 1936.
14. Н. П. Безклубенко, Технология производства труб, Metallurgizdat, 1941.
15. П. Т. Емельяненко, А. А. Шевченко, С. И. Борисов, Трубопрокатное производство, Metallurgizdat, 1940.
16. Г. А. Кашенко, Курс металловедения, Metallurgizdat, 1940.
17. М. Л. Зарошинский, Калибровка валков блуминга, Сталь, 1936.
18. М. Л. Зарошинский, Производительность блуминга, Сталь 1939.
19. Г. Г. Кустобаев, М. П. Сидельковский, А. М. Узненко, Разработка графиков нагрева слитков в нагревательных колодцах. Сборник научно-технических статей Магнитогорского металлургического комбината им. Сталина, № 4, 1940.
20. М. П. Сидельковский, А. М. Узненко, Б. П. Бахтинов, Улучшение калибровки Магнитогорского блуминга, Металлург, № 11—12, 1940.
21. И. И. Кучко, Калибровка и освоение двутавровых балок №№ 45с и 55а на Кузнецком металлургическом заводе. Сборник научно-технических статей КМЗ, № 1, 1938.
22. Стальпроект, Нагревательные печи (атлас), Metallurgizdat, 1939.
23. А. И. Виткин, Механизация и автоматизация тонколистовых станов, Сталь, № 3, 1939.
24. Д. М. Кэмп и К. Б. Френсис, Производство и обработка стали, пятое издание, второй исправленный выпуск; перев. с англ. под ред. акад. И. П. Бардина, ч. I, II и III, Metallurgizdat, 1945, 1946 и 1947.
25. Справочник по металлургии. Прокатное дело, под ред. И. Пуппа и Г. Штаубера, т. I, перев. с нем., ОНТИ НКТП, 1934.
26. Прокатное дело, под ред. И. Пуппа и Г. Штаубера, т. II, перев. с нем., ОНТИ НКТП, 1937.
27. В. Гринкс, Калибровка прокатных валков, ч. 1 и 2, перев. с англ., ОНТИ НКТП, 1933 и 1935.
28. К. Бент, Современная практика прокатного производства в Америке. Журнал оф Айрон энд Стил Инститют, 1938, П. Реферат Я. Галлая в журнале «Сталь», № 3, 1939.
29. Т. И. Эсс, Современные нагревательные колодцы и блуминги. Айрон энд Стил Инжинир. 1943, Апрель. Реферат в Бюллетене Центрального института информации, № 11—12, 1944.
30. Росс Е. Бейнон, Сортные станы и калибровка валков для них; Айрон энд Стил Инжинир, 1943, декабрь.
31. Росс Е. Бейнон, Прокатка полупродукта, Айрон энд Стил Инжинир, 1944, август.
32. Росс Е. Бейнон, Балочные станы и калибровка валков для них, Айрон энд Стил Инжинир, 1945, февраль.
33. Росс Е. Бейнон, Рельсовые станы и калибровка валков для них. Айрон энд Стил Инжинир, 1946, июнь.
34. Росс Е. Бейнон, Проволочные станы и калибровка валков для них. Айрон энд Стил Инжинир, 1947, июнь.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
<b>I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ</b>	
1. Место прокатного цеха в системе современного металлургического завода . . . . .	7
2. Структура прокатного цеха . . . . .	7
3. Сортамент прокатных изделий . . . . .	8
<b>Глава 1. Классификация прокатных станов</b> . . . . .	11
1. Общее устройство прокатного стана . . . . .	11
2. Вспомогательные механизмы, обслуживающие прокатные станы	12
3. Классификация прокатных станов по конструкции . . . . .	13
4. Классификация прокатных станов по назначению . . . . .	18
5. Классификация прокатных станов по расположению клетей . . . . .	21
<b>Глава 2. Основы калибровки валков</b> . . . . .	26
1. Основные понятия и определения . . . . .	26
2. Форма калибров . . . . .	28
3. Рабочая клеть и ее детали . . . . .	31
4. Валки . . . . .	32
5. Валковая арматура . . . . .	33
6. Настройка стана . . . . .	35
7. Точность прокатки и допуски . . . . .	36
<b>Глава 3. Основы расчета производительности прокатных станов.</b>	39
<b>II. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОДУКТА—БЛУМОВ, СЛЯБОВ И ЗАГОТОВОК</b>	
Введение . . . . .	52
1. Общая схема технологического процесса в прокатных цехах . . . . .	52
2. Классификация полупродукта . . . . .	53
<b>Глава 1. Слитки</b> . . . . .	54
1. Затвердевание слитка . . . . .	54
2. Внутренние дефекты слитка . . . . .	54
3. Наружные дефекты слитка . . . . .	58
4. Форма и размеры слитков . . . . .	59
5. Определение размеров и веса слитков . . . . .	60
<b>Глава 2. Нагрев слитков</b> . . . . .	63
1. Колодцы, работающие с образованием жидкого шлака . . . . .	63
2. Колодцы второй группы . . . . .	66
3. Производительность нагревательных колодцев . . . . .	76
<b>Глава 3. Прокатка блумов и слябов</b> . . . . .	78
1. Блуминг, общая характеристика . . . . .	78
2. Конструкция блуминга . . . . .	78
3. Общая схема технологического процесса на блуминге . . . . .	99
4. Течение материала при прокатке на блуминге . . . . .	99
5. Выбор величины обжатия на блуминге . . . . .	101
6. Калибровка валков блуминга . . . . .	113
7. Прокатка слябов . . . . .	126
8. Производительность блуминга . . . . .	136

	Стр.
9. Расположение реверсивных блумингов и слябингов . . . . .	142
10. Многоклетевые блуминги . . . . .	147
11. Блуминги и обжимные станы трио . . . . .	153
<b>Глава 4. Прокатка заготовки</b> . . . . .	155
1. Прокатка заготовки на непрерывных заготовочных станах . . . . .	155
2. Прокатка заготовки и сутунки на станах трио и реверсивных дуо . . . . .	170
<b>Глава 5. Дефекты полупродукта и методы борьбы с ними</b> . . . . .	173
1. Характеристика дефектов полупродукта . . . . .	173
2. Зачистка полупродукта . . . . .	176
<b>Глава 6. Техничко-экономические показатели производства полу- продукта</b> . . . . .	181

### III. ПРОКАТКА ГОТОВОГО ПРОДУКТА

<b>Глава 1. Прокатка рельсов и балок</b> . . . . .	186
1. Сортамент . . . . .	186
2. Калибровка рельсов, общая характеристика . . . . .	188
3. Калибровка рельсов, первый вариант . . . . .	189
4. Калибровка рельсов, второй вариант . . . . .	190
5. Калибровка рельсов, третий вариант . . . . .	191
6. Реверсивный рельсобалочный стан . . . . .	191
7. Рельсобалочные станы трио . . . . .	196
8. Охлаждение рельсов на стеллажах . . . . .	201
9. Отделка рельсов . . . . .	205
10. Осмотр и испытание рельсов . . . . .	209
11. Термическая обработка рельсов . . . . .	211
12. Прокатка балок . . . . .	218
13. Производительность рельсобалочных станов . . . . .	221
14. Прокатка широкополочных балок . . . . .	229
15. Техничко-экономические показатели производства рельсов и балок . . . . .	232
<b>Глава 2. Прокатка сортового металла</b> . . . . .	237
1. Введение . . . . .	237
2. Станы 600—450 линейного типа . . . . .	244
3. Станы 600—450 с последовательным расположением клетей . . . . .	252
4. Стан 350 линейного типа . . . . .	257
5. Станы 350 и 300 шахматного типа . . . . .	267
6. Стан 250 линейного типа . . . . .	271
7. Стан 250 полунепрерывный . . . . .	281
8. Стан 250 непрерывный . . . . .	282
9. Комбинированные сортовые станы . . . . .	285
10. Характеристика брака сортового металла . . . . .	287
11. Склады готового продукта . . . . .	289
12. Техничко-экономические показатели прокатки сортового металла . . . . .	290
<b>Глава 3. Прокатка проволоки</b> . . . . .	293
1. Сортамент и исходный материал . . . . .	293
2. Проволочный стан линейного типа . . . . .	295
3. Полунепрерывный проволочный стан . . . . .	301
4. Непрерывный проволочный стан . . . . .	303
5. Характеристика брака проволоки . . . . .	305
<b>Глава 4. Прокатка заготовки для сварных труб и ленты</b> . . . . .	306
1. Сортамент . . . . .	306
2. Стан 500 двойное дуо . . . . .	306

	Стр.
3. Непрерывные станы для прокатки заготовки для сварных труб и ленты . . . . .	309
4. Холодная прокатка ленты . . . . .	311
5. Техничко-экономические показатели производства заготовки для сварных труб и ленты . . . . .	312
<b>Глава 5. Прокатка качественных сталей</b> . . . . .	314
1. Характеристика качественных сталей . . . . .	314
2. Особенности технологического процесса при обработке ка- чественных сталей в связи с их свойствами . . . . .	318
3. Прокатка качественной стали различных марок . . . . .	326
<b>Глава 6. Прокатка листовой стали. Толстые листы.</b> . . . .	331
1. Сортамент толстых листов . . . . .	331
2. Исходный материал . . . . .	332
3. Типы нагревательных печей . . . . .	334
4. Типы толстолистовых станов . . . . .	335
5. Процесс прокатки . . . . .	338
6. Выбор величины обжатия при прокатке толстых листов . . . . .	343
7. Схемы обжатий при прокатке толстых листов . . . . .	346
8. Особенности прокатки листов разных марок . . . . .	350
9. Отделочные операции при производстве толстых листов . . . . .	351
10. Расположение толстолистовых станов . . . . .	355
11. Прокатка универсальной стали . . . . .	356
12. Характеристика брака толстых листов . . . . .	358
13. Техничко-экономические показатели производства толстых ли- стов . . . . .	360
<b>Глава 7. Прокатка листовой стали. Тонкие листы</b> . . . . .	362
1. Сортамент тонких листов . . . . .	362
2. Прокатка тонких листов на станах дуо . . . . .	364
3. Производство листов толщиной 0,88—3,75 мм . . . . .	369
4. Производство жести . . . . .	378
5. Механизация тонколистовых станов дуо . . . . .	379
6. Прокатка листов на непрерывных станах . . . . .	382
7. Характеристика брака тонколистовой стали . . . . .	394
8. Техничко-экономические показатели производства тонких листов . . . . .	396
<b>Глава 8. Производство бандажей и колес</b> . . . . .	398
<b>Глава 9. Производство труб</b> . . . . .	402
1. Введение . . . . .	402
2. Производство бесшовных труб . . . . .	402
3. Производство сварных труб . . . . .	433
<b>IV. СТРУКТУРА ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ</b> . . . . .	440
1. Выбор типов прокатных станов . . . . .	443
2. Расположение станов в цехе . . . . .	445
3. Примеры структуры прокатных цехов . . . . .	446
Список рекомендуемой литературы . . . . .	447

Редактор *И. Ф. Гринберг.*  
 Технический редактор *Е. Б. Вайнштейн.*

Сдано в производство 2/VIII 1948 г.  
 Подписано к печати 20/XI 1948 г.  
 Формат бумаги 60 × 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
 Уч.-изд. л. 32. Печ. л. 28<sup>3</sup>/<sub>4</sub> + 7 вкл.  
 Зн. в 1 п. л. 42.000.  
 Л135970. Тираж 5.000.  
 Заказ 695. Цена 16 р. 40 к.

Типография Металлургиздата,  
 Москва, Цветной бульвар, 30.

#### ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
24	1-я снизу	шамотного	шахматного	Тип.
127	4-я сверху	(1,5)	(1,5)*	Корр.
191	На рис. 130 шестой по порядку калибр должен быть повернут на 90°			Авт.
201	15-я сверху	600 л. с.	6000 л. с.	Авт.
268	Табл. 50, графа 5 1—4-я сверху		50 60 70 80	Авт.
317	Табл. 60, графа 9 3-я сверху	0,045	0,030	Авт.

М. Л. Зарошинский.