

В.Ф. Зотов

ПРОИЗВОДСТВО ПРОКАТА

В.Ф. Зотов

ПРОИЗВОДСТВО ПРОКАТА



Москва, "ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ", 2000

УДК 621.771

ББК 34.621

3-78

Рецензенты: канд. техн. наук В.И. Елин, Г.В. ИONOBA

Зотов В.Ф.

3-78

Производство проката. — М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. — 352 с.

ISBN 5-89594-039-0

Изложены материалы по основам теории пластической деформации и прокатки, основному и вспомогательному оборудованию прокатных цехов, технологии производства проката на обжимных, сортовых и листовых станах. Рассмотрены также вопросы стандартизации и контроля качества прокатной продукции, автоматизации прокатного производства, охраны труда в прокатных цехах.

Издание рассчитано на специалистов различной квалификации металлургической промышленности. Может быть использовано учащимися, обучающимися в системе среднего профессионального образования, студентами вузов неметаллургических специальностей. Ил. 174. Табл. 11. Библиогр. список: 20 назв.

УДК 621.771

ББК 34.621

ISBN 5-89594-039-0



9 785895 940396

ISBN 5-89594-039-0

© Зотов В.Ф.,

"Интермет Инжиниринг", 2000 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Основы теории прокатки	7
1. Кристаллическое строение металлов	7
2. Напряжения и деформации	10
3. Упругая и пластическая деформация металлов	16
4. Механизмы деформации металлов при прокатке	20
5. Наклеп и рекристаллизация	23
6. Пластичность металлов и сопротивление металлов пластической деформации	28
7. Методы оценки пластичности	32
8. Условия постоянства объема. Закон наименьшего сопротивления	33
9. Очаг деформации при прокатке, его параметры, характеристики деформации	35
10. Условия захвата полосы валками	40
11. Опережение и отстаивание	44
12. Вытяжка и уширение	47
13. Неравномерность деформации при прокатке	51
14. Прокатка на непрерывных станах	52
15. Трение при прокатке	53
16. Усилие и момент прокатки	57
17. Работа и расход энергии при прокатке	60
Глава 2. Назначение и классификация прокатных станов	63
1. Производство проката в структуре металлургического предприятия	63
2. Классификация и типы прокатных станов	65
3. Сортамент прокатной продукции	71
Глава 3. Технология производства проката	74
1. Технологические схемы производства проката	75
2. Исходный металл и его подготовка к прокатке	78
3. Нагрев металла перед прокаткой	85
4. Охлаждение проката	96
5. Отделка проката	98
6. Производительность и технико-экономические показатели работы прокатных станов	101
Глава 4. Агрегаты и механизмы прокатных станов	108
1. Агрегаты и механизмы главной линии прокатного стана	109
2. Агрегаты и механизмы поточных технологических линий прокатных цехов	138
3. Ремонт оборудования прокатных цехов	171
Глава 5. Производство полупродукта	175
1. Станы для прокатки слитков и заготовок	176
2. Технология прокатки на обжимных и заготовочных станах	182
3. Калибровка валков и режимы обжатия на обжимных и заготовочных станах	186
4. Производство блюмов, слябов и заготовок на машинах непрерывного литья	192
5. Дефекты исходного металла и заготовок	196
6. Производительность обжимных станов	200

Глава 6. Производство сортового проката	203
1. Станы для прокатки сортового проката	205
2. Технология прокатки на сортопрокатных станах	216
3. Калибровка валков сортопрокатных станов	230
4. Литейно-прокатные агрегаты для производства сортового проката	243
5. Дефекты сортопрокатной продукции	245
6. Производительность сортопрокатных станов	249
Глава 7. Производство горячекатаных листов	252
1. Станы для производства горячекатаных листов	253
2. Технология прокатки горячекатаных листов	261
3. Профилировка валков листопркатных станов и повышение точности размеров прокатываемых листов	270
4. Дефекты горячекатаных листов	274
5. Производительность станов горячей прокатки листов	275
Глава 8. Производство холоднокатаных листов	277
1. Станы холодной прокатки листов	279
2. Технология прокатки холоднокатаных листов	290
3. Производство холоднокатаных листов с покрытиями	307
4. Дефекты холоднокатаных листов	310
5. Производительность станов холодной прокатки листов	311
Глава 9. Стандартизация и контроль качества прокатной продукции	313
1. Стандартизация и ее роль в производстве проката	313
2. Качество прокатной продукции	316
3. Организация технического контроля в прокатных цехах	319
4. Методы и средства контроля качества прокатной продукции	321
5. Управление качеством прокатной продукции	327
Глава 10. Автоматизация прокатных станов	331
1. Автоматизация обжимных и сортопрокатных станов	332
2. Автоматизация листопркатных станов	339
Глава 11. Охрана труда в прокатных цехах	345
Рекомендательный библиографический список	351

Введение

Обработка давлением является одним из способов получения готовых изделий из металла. Она подразделяется на несколько видов, к которым относятся прокатка, волочение, ковка, штамповка, прессование и некоторые специальные процессы. Прокатка среди указанных видов является самым производительным процессом производства готовых изделий из металла-проката, хорошо поддающийся механизации и автоматизации. Прокат является наиболее массовым видом конструкционных материалов и находит широкое применение в машиностроении, металлообработке, строительстве, на транспорте и других отраслях народного хозяйства страны. Кроме того, прокат используют и в самом металлургическом производстве на ремонтно-эксплуатационные нужды и для дальнейшего передела в трубы, метизы, жести, рельсовые скрепления и др.

Прокат, получаемый на прокатных станах, отличается большим разнообразием по форме поперечного сечения и его размерам. Так, в настоящее время только на сортопрокатных станах производится около 4500 сортовых профилей проката.

Производство проката — сложный процесс, базирующийся на современных технологии и оборудовании, высоком уровне механизации, автоматизации и организации производства, контроле технологических процессов и качества проката, высоких технико-экономических показателях работы прокатных станов и др.

В настоящее время в нашей стране работают прокатные станы различного назначения; это обжимные, сортовые, листовые горячей и холодной прокатки и др.

Введены в эксплуатацию современные высокопроизводительные станы большой единичной мощности: блюминги 1300, универсальный стан широкополочных балок, крупносоротно-заготовочный стан 700, среднесортные станы 450 и 350, мелкосортные станы 250, мелкосортно-проволочные 320/150, листовые станы горячей прокатки 2000, листовые станы холодной прокатки 2030 и 1400 и др. На каждом из этих станов организован производственный процесс, в котором участвуют от нескольких сотен до 1,5—2 тысяч трудящихся, высокая квалификация которых является необходимым условием производства.

Дальнейшее развитие производства проката основано на эксплуатации станов большой единичной мощности, получении проката высокого качества и использовании на них эффективных ресурсосберегающих технологий. Главными направлениями повышения мощности прокатных станов являются увеличение массы исходного металла, скорости прокатки и обжата металла. Повышение качества готового проката возможно в результате применения более совершенного основного и вспомогательного оборудования, включения в процесс прокатки отделочных операций, позволяющих повысить механические характеристики металла, улучшить состояние поверхности проката и получить необходимые его геометрические параметры. Применение в производстве проката ресурсосберегающих технологий повышает эффективность производства проката, которая выражается в экономии металла и энергетических и других ресурсов и снижении его себестоимости.

Сегодня в прокатное производство начинают внедряться новые технологические процессы и машины, в корне изменяющие привычные представления о прокатном производстве и его возможностях. К ним относятся совмещение прокатных станов и машин непрерывного литья заготовок и клетки интенсивной деформации. Пока это еще первые шаги, но и они вскрывают значительные резервы по совершенствованию производства проката и ставят новые задачи перед конструкторами и инженерами по созданию и внедрению новых машин, механизмов, технологий и процессов в прокатных цехах.

Широкое внедрение новых процессов, машин и механизмов, автоматизации труда коренным образом изменяет характер труда рабочего на металлургическом заводе. Труд рабочего сводится к управлению машинами, наладке машин и контролю за исправностью их действия, т.е. принимает интеллектуальный характер. Значит, все большую важность приобретает квалификация обслуживающего персонала, глубокое понимание им сущности производственных процессов и их теоретических основ. Поэтому в программу обучения квалифицированных рабочих наряду с изучением технологии и оборудования в качестве обязательной составной части является и изучение теоретических основ производственного процесса.

Материал учебника изложен в соответствии с требованиями программ по подготовке вальцовщиков станов горячей и холодной прокатки.

Глава 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

Теория прокатки начала развиваться в середине XIX в. В ее становление внесли большой вклад как отечественные, так и зарубежные ученые.

В своем развитии теория прокатки базируется на достижениях физики, математики, химии, теоретической механики, сопротивления материалов, металловедения и, в свою очередь, служит основой для изучения технологии и оборудования прокатного производства. В современной теории прокатки рассматривается комплекс вопросов, связанный с ведением процесса прокатки и использованием прокатного оборудования, это изучение: внутренних процессов превращения в металлах; влияния внешних условий на процесс прокатки; напряженно-деформированного состояния прокатываемого металла; силовых параметров процесса прокатки и др. Выводы теории прокатки используются при разработке оптимальных режимов деформации металла, конструировании прокатного оборудования и проектировании прокатных цехов.

Знание основ теории прокатки является необходимым условием ведения качественного процесса прокатки, эффективной работы эксплуатируемого оборудования, получения прокатной продукции высокого качества и важным условием подготовки квалифицированных специалистов-прокатчиков.

1. Кристаллическое строение металлов

В металлах и их сплавах в твердом состоянии элементарные частицы — атомы — характеризуются закономерным упорядоченным размещением. Благодаря такому размещению атомы, находящиеся на различных направлениях, можно как бы соединить прямыми линиями. Совокупность таких пересекающихся линий представляет собой своеобразную пространственную решетку, которая при многократном повторении в пространстве воспроизводит объемную или пространственную кристаллическую решетку (рис. 1).

Кристаллические решетки разных металлов отличаются по форме и размерам элементарных ячеек. Различают простые пространственные решетки, в которых атомы размещаются только в узлах решетки (в вершинах основной элементарной ячейки), и сложные пространственные решетки, у которых

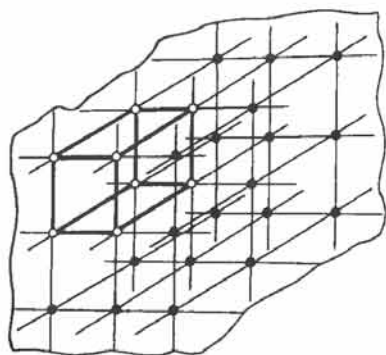


Рис.1. Пространственная кристаллическая решетка

внутри основных элементарных ячеек также размещены атомы. Для описания строения пространственной решетки обычно выбирают систему координат, в которой осями служат три прямые, проведенные из одной точки, например, узла решетки. Эти прямые совпадают с прямыми, соединяющими атомы.

Самой простой решеткой является кубическая. Элементарную ячейку простой кубической решетки представляет куб, в вершинах которого размещены 6 атомов. Такой решеткой обладает, например, поваренная соль NaCl (рис. 2, а). В узлах решетки находятся положительные ионы Na^+ и отрицательные Cl^- .

Металлам присущи более сложные типы кубических решеток — объемно-центрированная (ОЦК), гранецентрированная (ГЦК) кубические решетки и гексагональная плотноупакованная (ГПУ) (рис. 2, б, в, г).

Основу ОЦК составляет кубическая решетка, в которой

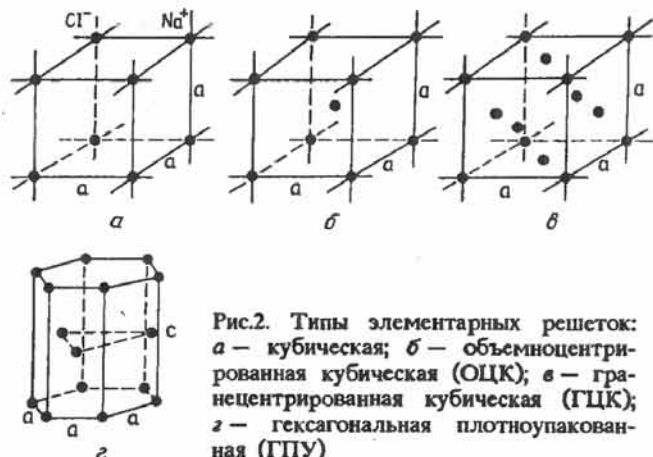


Рис.2. Типы элементарных решеток: а — кубическая; б — объемноцентрированная кубическая (ОЦК); в — гранецентрированная кубическая (ГЦК); г — гексагональная плотноупакованная (ГПУ)

атомы находятся не только в вершинах куба, но и в его центре, на пересечении его диагоналей. Такой тип решетки имеют α -железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден, β -титан и другие металлы.

В ГЦК ячейкой служит куб с атомами, расположенными не только в вершинах куба, но и в центре граней. Подобную решетку имеют γ -железо, алюминий, медь, никель, свинец и другие металлы.

В ГПУ ячейка состоит из параллельных центрированных гексагональных оснований, отстоящих друг от друга на параметр c . Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, α -титан и др.

Показанный на рисунке характер расположения атомов является условным, так как в действительности ионы расположены плотнее, непосредственно соприкасаясь друг с другом. Такие решетки и соответствующие им ячейки называются плотноупакованными. Расстояние между ближайшими атомами в ячейке называется параметром кристаллической решетки. У кубических решеток этот параметр одинаков по всем трем осям координат (на рис. 2, параметр a).

В ГПУ два параметра a и c . Так как за параметр принимается расстояние между центрами атомов, то у плотноупакованных решеток он практически равен диаметру атома. Компактность кристаллической решетки является важной характеристикой. Параметры кристаллической решетки имеют величины порядка атомных размеров и измеряются в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$). В металлах параметры изменяются в пределах $2-7 \text{ \AA}$.

Вышеизложенные рассуждения характерны лишь для монокристалла. Монокристалл — это отдельный кристалл с непрерывной кристаллической решеткой. Реальные металлы состоят из множества кристаллов, форма, размеры и направление кристаллических осей которых зависят от условий кристаллизации и последующей их обработки. Такое строение называется поликристаллическим. Взаимное расположение атомов, расстояние между ними, плотность их расположения, кристаллические направления и плоскости определяют механические и физические свойства кристаллов. Эти свойства вдоль различных кристаллографических направлений и в различных кристаллографических плоскостях зависят от числа находящихся в них атомов и не являются одинаковыми. Такое явление

ние называется анизотропией свойств. Следует иметь в виду, анизотропия проявляется только в пределах одного монокристалла или зерна-кристаллита. В поликристаллических телах, какими являются реальные металлы, состоящие из огромного количества произвольно ориентированных друг относительно друга зерен, она не наблюдается. Это объясняется тем, что в поликристаллических телах недостаток какого-либо свойства по одному из направлений в одних зернах компенсируется избытком данного свойства по этому же направлению в других зернах. Поэтому реальные металлы являются изотропными телами, т.е. телами с одинаковыми свойствами по различным направлениям.

2. Напряжения и деформации

В процессе обработки давлением металлы подвергаются действию сил со стороны рабочего инструмента (валков, бойков и др.). Под действием этих (внешних) сил в металле возникают внутренние силы, которые уравнивают внешние. Величина этих внутренних сил на единицу площади выбранного сечения в металле называется *напряжением* σ . Напряжение на схемах изображают векторами-стрелками, показывающими направление действия напряжений, причем длина стрелки в определенном масштабе показывает величину напряжения. При этом растягивающие напряжения являются положительными, а сжимающие отрицательными. Если напряжения распределены по площади сечения равномерно, т.е. в любой точке сечения они одинаковы, то для определения напряжения σ в какой-либо точке сечения достаточно разделить внутреннюю силу P на площадь сечения F :

$$\sigma = \frac{P}{F}. \quad (1)$$

На примере растягиваемого стержня, имеющего постоянное поперечное сечение по всей длине, рассмотрим распределение внутренних сил в сечениях $n-n_1$ и $n-n_2$ (рис. 3).

Мысленно отделим нижнюю часть стержня и уравновесим внешнюю силу P внутренними силами (рис. 3, б). Равнодействующая этих сил в силу равновесия равна силе P .

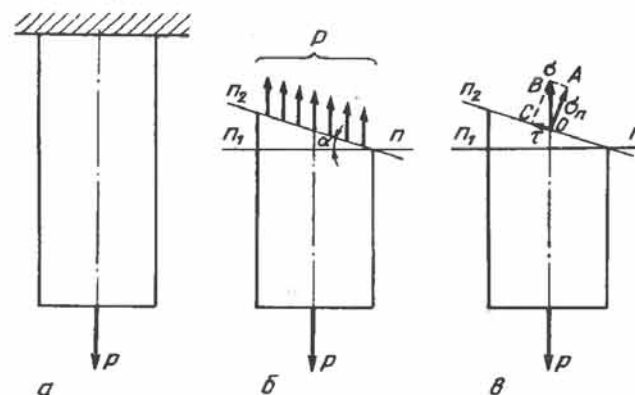


Рис.3. Схема действия сил и напряжений в растягиваемом неподвижно закрепленном стержне

Напряжение, действующее на наклонной площадке в сечении $n-n_2$, определяется из выражения

$$\sigma' = \frac{P}{F_\alpha}, \quad (2)$$

где $F_\alpha = \frac{F}{\cos \alpha}$ — площадь наклонного сечения $n-n_2$.

Напряжение σ на наклонной площадке можно разложить по правилу параллелограмма на две составляющие: *нормальное напряжение* σ_n и *касательное напряжение* τ , действующее вдоль площадки $n-n_2$ (рис. 3, в):

$$\sigma_n = \sigma' \cos \alpha; \quad (3)$$

$$\tau = \sigma' \sin \alpha.$$

Подставляя в уравнения (3) значение σ' из (2) получим:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{P}{F_\alpha} \cdot \cos \alpha = \frac{P}{F} \cdot \cos^2 \alpha = \sigma \cdot \cos^2 \alpha; \\ \tau &= \frac{P}{F_\alpha} \cdot \sin \alpha = \frac{P}{F} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \sigma \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \\ &= \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

Из уравнений видно, что значения нормальных и касательных напряжений зависят от угла наклона α рассматриваемой площадки. При этом максимальное значение нормальных напряжений будут принимать при $\cos^2 \alpha = 1$ ($\alpha = 0^\circ$), т.е.

в площадках, перпендикулярных направлению силы P :

$$\sigma_n = \sigma = \sigma_{\max} = \frac{P}{F}.$$

Касательные напряжения будут принимать максимальные значения при $\sin 2\alpha = 1$, т.е. когда $2\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$. Таким образом, площадки, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения, расположены под углом 45° к направлению действующей силы P , а их значения определяются выражением:

$$\tau = \tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha = \frac{1}{2} \sigma. \quad (5)$$

Касательные напряжения τ на площадках, где нормальные напряжения имеют максимальные значения, равны нулю, т.к. $\sin 2\alpha = \sin 0^\circ = 0$.

Площадки, на которых касательные напряжения равны нулю, называются *главными*. Нормальные напряжения, действующие на главных площадках, называются *главными*, а направления их действия — *главными направлениями*.

Рассмотренный случай растяжения стержня, когда напряжения равномерно распределены по всему рассматриваемому сечению, является наиболее простым.

Для наглядного рассмотрения напряженного состояния какой-либо частицы металла ее обычно представляют в форме бесконечно малого кубика, по граням которого действуют напряжения (рис. 4). Эти напряжения, в общем случае, не перпендикулярны к граням параллелепипеда. Каждое из них можно разложить по правилу параллелограмма на нормальное напряжение и два касательных, действующих вдоль координатных осей.

При любом напряженном состоянии всегда существуют три

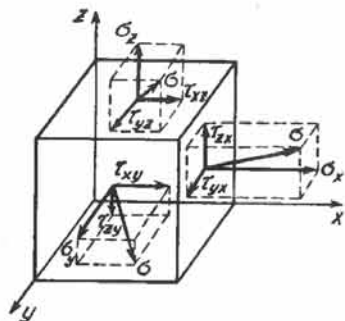


Рис. 4. Схема напряжений, действующих по граням бесконечно малого кубика

такие взаимно перпендикулярные площадки, на которых касательные напряжения равны нулю, т.е. главные площадки.

Напряженное состояние частицы металла (точки) характеризуют в этом случае главными напряжениями. Максимальное главное напряжение обозначают индексом σ_1 , минимальное — σ_3 и среднее σ_2 , т.е.

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3. \quad (6)$$

Максимальные касательные напряжения при таком напряженном состоянии действуют по плоскостям, проходящим через диагонали граней куба. Таких плоскостей в каждом кубе шесть, а значения касательных напряжений в них определяются из выражений:

$$\begin{aligned} \tau_{1,2} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \\ \tau_{2,3} &= \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \\ \tau_{3,1} &= \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Под воздействием внешних сил тело (металл) изменяет свою форму и размеры, т.е. тело будет деформироваться. При анализе деформированного состояния тела также обычно рассматривают его бесконечно малый кубик. При деформировании такого кубика происходит изменение длин его ребер и искажение его углов. Изменение длин ребер кубика характеризует *линейную* деформацию, а искаженные первоначально прямые углы — *сдвиговую* деформацию.

Значения линейных деформаций вычисляются как отношение изменения (увеличения или уменьшения) длины ребра кубика к его первоначальному размеру. Например, деформация в направлении оси x (рис. 5, а)

$$\epsilon_x = \frac{\Delta x_1 - \Delta x}{\Delta x}.$$

Значения сдвиговых деформаций равны тангенсу угла поворота ребра кубика относительно осей координат, например: $\gamma = \tan \gamma$ (рис. 5, б).

Для деформаций, так же как и для напряжений, имеются три взаимно перпендикулярных направления, которые называются *главными осями деформации*. В направлениях этих осей возникают главные линейные деформации $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, а сдвиги

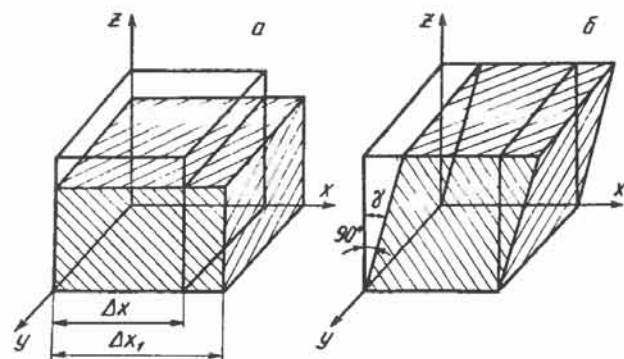


Рис.5. Изменения бесконечно малого кубика при линейной (а) и сдвиговой (б) деформациях

ги γ в этом случае отсутствуют, т.е. по главным осям деформации происходит только удлинение или укорочение.

На площадках, параллельных одной координатной плоскости и составляющих одинаковые углы 45° с двумя другими координатными плоскостями, возникают *наибольшие (главные) сдвиги* γ_{12} , γ_{23} , γ_{31} . Наибольшие сдвиги определяются через главные линейные деформации следующим образом:

$$\begin{aligned}\gamma_{12} &= \epsilon_1 - \epsilon_2; \\ \gamma_{23} &= \epsilon_2 - \epsilon_3; \\ \gamma_{31} &= \epsilon_3 - \epsilon_1.\end{aligned}\quad (8)$$

При изучении процессов обработки металла давлением используют схематическое сочетание напряжений и деформаций. В этом случае схемы напряженного состояния представляют в виде элементарного кубика с указанием стрелками наличия и направления главных напряжений. Если на грани кубика действуют три взаимно перпендикулярных главных напряжения, то в этом случае тело находится в *объемном* напряженном состоянии (О). Если одно из главных напряжений равно нулю, то тело имеет *плоское* напряженное состояние (П), а если два главных напряжения равны нулю, то *линейное* (Л). Всего имеется девять схем напряженного состояния, из которых четыре объемных, три плоских и две линейных (рис. 6).

Схемы, имеющие напряжение одного знака (минус—сжатие или плюс—растяжение), называют одноименными, а разных знаков — разноименными. Одноименных схем из девяти шесть: две линейные, две плоские и две объемные; а разноименных схем — три: одна плоская и две объемные.

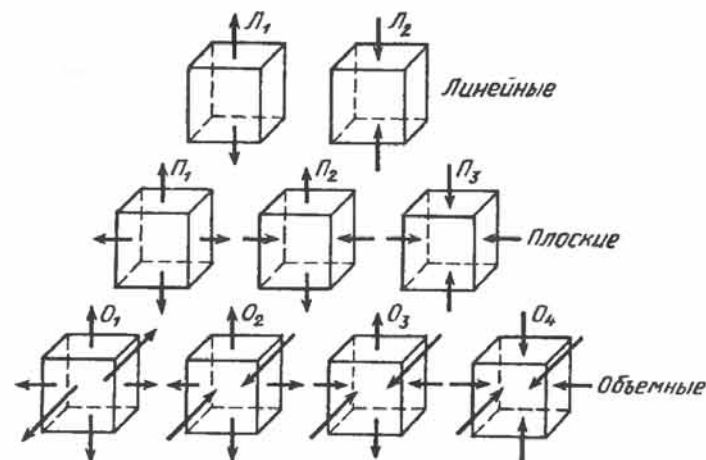


Рис.6. Схема главных напряжений

Аналогично схеме главных напряжений введено понятие о схеме деформаций. Схемой деформаций называют графическое представление о наличии и знаке главных деформаций. В отличие от схем напряженного состояния схем деформаций только три, так как главные деформации не могут быть одного знака, а схемы деформаций могут быть только разноименными. Поэтому не может быть линейных схем деформации; имеются только одна плоская и две объемные схемы (рис. 7).

В первом случае (схема Д_I) металл поступает в одном направлении, а уходит в двух направлениях. Во втором случае (схема Д_{II}) металл поступает в одном направлении, а уходит в другом. В третьем случае (схема Д_{III}) металл поступает по двум направлениям, а уходит в одном направлении.

Все эти три схемы взаимосвязаны и при этом возможен переход от одной схемы к другой в процессе деформации.

Примером использования схемы Д_I может служить прокатка узкой полосы, прокатка же широкой полосы проходит по схеме Д_{II}. Примером использования схемы Д_{III} является волочение—протягивание прутка через очко. Для анализов процессов обработки давлением введено понятие механических схем деформации. Механической схемой деформации данного

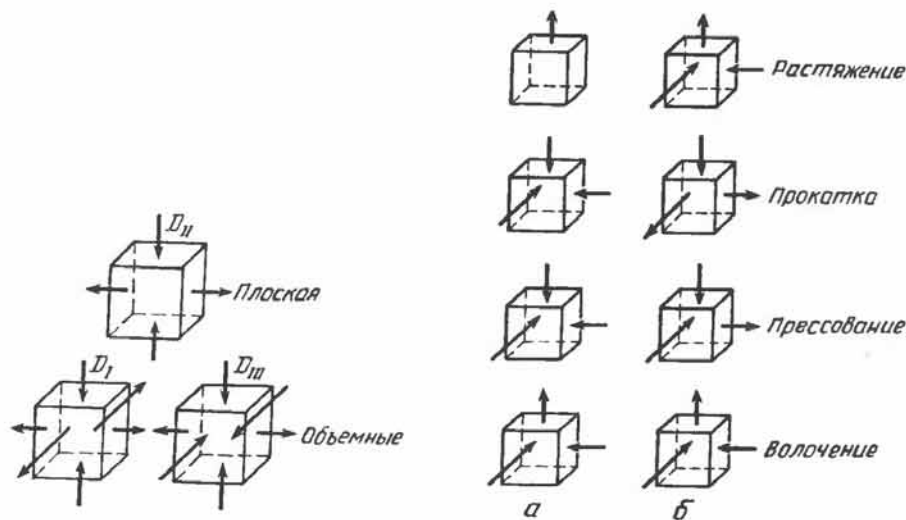


Рис. 7. Схема главных деформаций

Рис. 8. Сочетание схем главных напряжений (а) и схем главных деформаций (б) некоторых процессов обработки металлов давлением

процесса называют совокупность схемы главных напряжений и схемы главных деформаций (рис. 8). Напряженное состояние характеризуется одной из девяти схем, а деформированное — одной из трех. Каждая линейная схема напряженного состояния может иметь только одну схему деформации. Так, линейная схема с напряжением растяжения имеет одну деформацию растяжения и две деформации сжатия, а линейная схема с напряжением сжатия имеет схему деформации с одной деформацией сжатия и с двумя деформациями растяжения. Каждая из четырех объемных и трех схем напряженного состояния может сочетаться со всеми тремя схемами деформации.

Таким образом, число возможных механических схем деформации $2 + (4 + 3)3 = 23$.

3. Упругая и пластическая деформация металлов

Деформация металла может быть упругой и пластической. Упругой или обратимой деформацией называется такая, при которой после прекращения действия силы тело восстанавливает свои первоначальные форму и размеры. Упругая дефор-

мация возможна лишь до определенного предела, после которого начинается пластическая деформация. Пластической деформацией называется такая, при которой после прекращения действия нагрузки тело не восстанавливает своей первоначальной формы и размеров. Пластической деформации всегда предшествует упругая.

Более наглядное представление об упругой и пластической деформациях возможно при рассмотрении растяжения цилиндрического металлического образца (рис. 9).

Пунктирными линиями показаны размеры деформированного образца под нагрузкой силы P , сплошными — размеры образца после удаления нагрузки. При упругой деформации между напряжением и деформацией существует связь, которая определяется законом Гука:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (9)$$

где ϵ — относительная упругая деформация, равная отношению величины упругой деформации к начальному размеру деформируемого тела ($\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$); $\sigma = \frac{P}{F}$ — напряжение в поперечном сечении растягиваемого образца; E — модуль упругости, равный для стали $(2,0 + 2,2) \cdot 10^6$; для чугуна

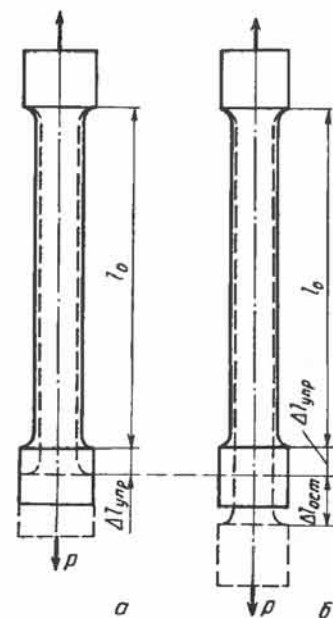


Рис. 9. Схемы упругой (а) и пластической (б) деформаций, получаемых при растяжении образца

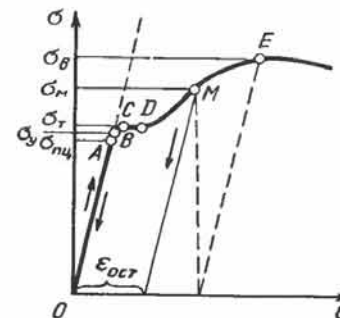


Рис. 10. Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали в координатах $\sigma - \epsilon$

$(1,15 + 1,60) \cdot 10^6$, для меди и ее сплавов $1,0 \cdot 10^6$, для алюминия и дюралюминия $0,7 \cdot 10^6$ Н/мм².

Деформацию можно определить не только в направлении действия силы, но и в перпендикулярном направлении ее действия. Если в направлении действия силы имеет место деформация растяжения, то в поперечном направлении тело будет испытывать деформацию сжатия и наоборот.

Поперечная упругая деформация пропорциональна продольной и равна

$$\epsilon' = \nu \epsilon,$$

где ϵ' — относительная упругая деформация в направлении, перпендикулярном действию силы ($\epsilon' = \frac{\Delta c}{c}$); ϵ — относительная упругая деформация в направлении действия силы ($\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$); ν — коэффициент Пуассона характеризует упругие свойства материала и определяет соотношение между продольной и поперечной деформациями.

Величина коэффициента Пуассона зависит от природы деформируемого тела и характеризует изменение объема при упругой деформации. Если бы объем металла не изменялся, то коэффициент Пуассона был бы равен 0,5. Однако в процессе упругой деформации объем металла изменяется и коэффициент Пуассона всегда меньше 0,5. Для стали он равен примерно 0,25–0,33, для меди — 0,31–0,34, для свинца — 0,45.

В общем случае между деформациями и напряжениями существует взаимосвязь, которую можно показать при испытаниях стандартных образцов на растяжение. По результатам таких испытаний строят диаграммы, на горизонтальной оси которых откладывают относительные или абсолютные деформации, а на вертикальной — силы или напряжения. На рис. 10 показана диаграмма растяжения образца малоуглеродистой стали в координатах σ — ϵ . На прямолинейном участке OA сохраняется прямая зависимость между напряжениями и деформациями, т.е. соблюдается закон Гука. При снятой нагрузке деформация полностью исчезнет и образец примет первоначальные размеры. Наибольшее напряжение, при котором сохраняется прямолинейная зависимость между напряжениями и деформациями, называется *пределом пропорциональности* и

обозначается $\sigma_{\text{пн}}$. Величина упругой деформации мала и обычно не превышает 0,1–0,2 %. При разгрузке образца от напряжений, превышающих предел пропорциональности, например от точки M на кривой, соотношение между напряжениями и деформациями будет определяться линией, параллельной OA . В этом случае прямая зависимость между σ и ϵ нарушается и при полном удалении нагрузки исчезает только упругая часть деформации, а сохраняется *остаточная деформация* $\epsilon_{\text{ост}}$.

Напряжение, которое при разгрузке вызывает впервые появление остаточной деформации, является *пределом упругости* σ_y . На участке CD деформация увеличивается при постоянном усилии. Это напряжение называется *пределом текучести* σ_t , а участок кривой — площадкой текучести. У большинства металлов на кривой растяжения отсутствует площадка текучести, в таком случае за предел текучести принимают напряжение, при котором получается остаточная деформация в 0,2 %.

При дальнейшем увеличении деформации напряжение возрастает, отражая влияние наклепа. Наибольшее напряжение на диаграмме, соответствующее наибольшей нагрузке, которую может выдержать растягиваемый образец, называется *пределом прочности* σ_B .

В обработке металлов давлением наибольшую важность представляет предел текучести. Металлы обрабатываются давлением в интервале напряжений между их пределом текучести и пределом прочности. Пластическую деформацию можно наблюдать при осадке металлического цилиндрического образца с отполированной поверхностью, на которой появляется сетка линий, представляющих собой следы взаимного сдвига тонких слоев металла (рис. 11).

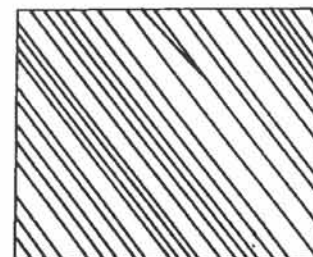


Рис. 11. Линии скольжения на поверхности кристалла алюминия

Упругая деформация имеет большое значение в процессах обработки металлов давлением и всегда предшествует пластической, т.е. с упругими деформациями связано появление напряжений, необходимых для осуществления пластической деформации. Кроме того, в процессах обработки металлов давлением необходимо учитывать упругие деформации деформируемого тела, рабочего инструмента и деталей машин — орудий, которые могут оказать влияние на конечные размеры готовых изделий.

4. Механизмы деформации металлов при прокатке

Под действием внешних сил атомы в кристаллических решетках смещаются относительно равновесного положения. Однако это смещение не безгранично, и при достижении ими превышающего расстояния между атомами в исходном состоянии атомы не возвращаются в исходное положение, а занимают новое равновесное положение, связь между атомами в этом случае не нарушается. В результате происходит пластическая деформация или остаточное изменение формы и размеров твердого тела.

В общем случае пластическая деформация в металлах осуществляется двумя путями: скольжением и двойникованием.

Скольжение происходит при сдвиге одной части монокристалла относительно другой. Сдвиги происходят по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. Эти плоскости и направления принято называть плоскостями и направлениями скольжения. Скольжение в кристаллической решетке происходит по плоскостям с наибольшей плотностью размещения атомов, а направлениями скольжения являются те направления, по которым расстояния между атомами имеют минимальную величину.

Скольжение по определенным плоскостям начнется тогда, когда касательные напряжения в них достигнут вполне определенной критической величины $\tau_{кр}$, и осуществляется путем последовательного смещения атомов (отдельных или групп атомов) относительно других вдоль плоскости скольжения (рис. 12, а).

Реальные кристаллы имеют места ослабленных связей между атомами. Это объясняется наличием несовершенств решетки. *Несовершенства решетки* реальных металлических крис-

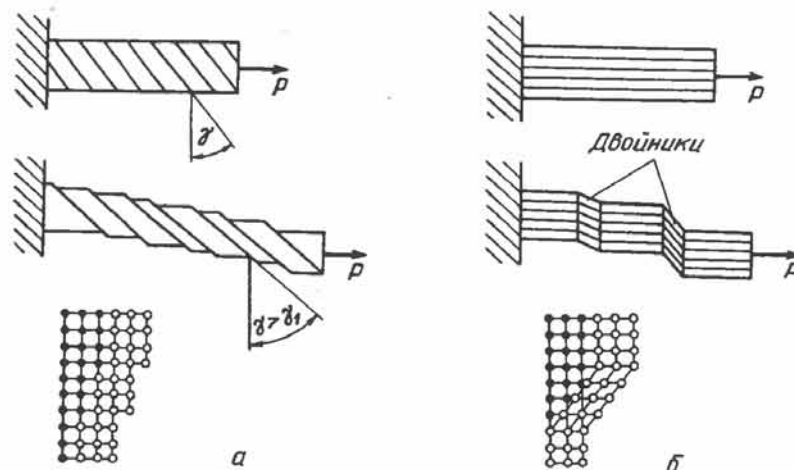


Рис.12. Схема пластической деформации и перемещения узлов решеток скольжением (а) и двойникованием (б)

таллов обусловлены различными причинами. Это отсутствие в узлах решетки атомов (дырки, вакансии), излишние атомы, внедренные между узловыми атомами (дислоцированные) и т.д. Особым видом несовершенства кристаллической решетки являются дислокации. Дислокации представляют собой линейные дефекты кристаллической решетки, имеющие значительную протяженность в одном направлении. На рис.13 показана модель кристаллической решетки с дислокацией, представля-

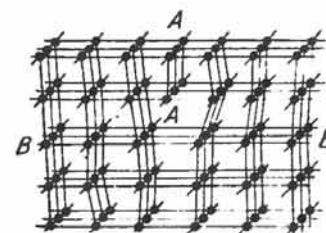


Рис.13. Модель фрагмента кристаллической решетки с дислокацией в металле

ющая собой внедрение излишних атомов между узловыми атомами. Эти атомы внедрены в первой от нас перпендикулярной плоскости, во второй, третьей и т.д. В результате это несовершенство вытягивается как бы в линию, причем на значительное расстояние. Эта лишняя плоскость может находиться над плоскостью скольжения или под ней. По обе стороны плоскости скольжения искажения кристаллической ре-

шетки различны. В верхней части решетка сжата, а в нижней — растянута.

Под действием сдвигающих напряжений дислокация перемещается вдоль плоскости скольжения. Для перемещения дислокации требуется меньшее усилие, чем для смещения атомов в решетке без дислокаций. Это объясняется тем, что дислокация перемещается на расстояние меньше межатомного. Для продолжения деформации необходимо перемещение других дислокаций. Процесс пластической деформации сопровождается дополнительным возникновением дислокаций. В реальных недеформированных кристаллах количество дислокаций очень велико и достигает величины 10^8 на 1 см^2 площади.

Таким образом, усилие, необходимое для пластической деформации кристалла, определяется двумя факторами: наличием дислокаций и возможностью их перемещения.

В некоторых металлах деформация происходит *двойникованием*. При этом часть кристалла переходит в положение, которое симметрично другой части кристалла (рис. 12, б). Решетка деформированной части кристалла является зеркальным отображением решетки недеформированной части. При двойниковании смещение составляет доли периода, причем все плоскости деформированной части кристалла сдвигаются относительно соседних плоскостей на одинаковую величину. Переход решетки в новое положение происходит почти мгновенно и часто сопровождается характерным потрескиванием. Двойникованием может быть получена незначительная степень деформации. Этот механизм пластической деформации сопутствует основному механизму — скольжению.

Пластическая деформация поликристаллов складывается из деформации зерен и их относительного смещения. Пластическая деформация зерен представляет собой изменение их формы и размеров, и их относительное смещение—перемещение и поворот относительно друг друга. В результате сдвигов и поворота плоскостей скольжения зерно, которое до деформации имело округлую форму, постепенно вытягивается в направлении растягивающих сил и получает вытянутую форму в направлении наиболее интенсивного течения металла. Определенная ориентировка вытянутых в результате пластической деформации зерен называется полосчатостью микроструктуры (волоконистостью).

Одновременно с изменением формы зерен в процессе пластической деформации оси зерен получают определенную преимущественную ориентировку вдоль деформации, т.е. некоторое однотипное расположение зерен в металле. Эта преимущественная ориентировка называется *текстурой деформации*. Появление текстуры наблюдается при деформациях около 50 % (относительное изменение сечения к первоначальному) и достигает наибольшего совершенства с ростом деформации.

Текстура металлов, у которых зерна имеют одинаковую ориентировку, приводит к тому, что поликристаллический металл приобретает свойства, близкие к свойствам монокристалла. В этом случае поликристаллический металл становится анизотропным, т.е. имеет неодинаковые свойства в различных направлениях.

Описанные выше процессы внутрикристаллитной деформации являются основными. В определенных условиях появляется смещение зерен относительно друг друга, т.е. будет наблюдаться *межзеренная* деформация. Так как пограничные участки зерен имеют значительную неоднородность по составу и искажение кристаллической решетки, пластический сдвиг на этих участках требует повышенной величины сдвигающего напряжения по сравнению с напряжением при сдвиге атомов в самом зерне. Таким образом, вблизи границ зерен расположены *зоны затрудненной деформации*. Наряду с этим на границе зерен могут быть микропустоты, скопления примесей в форме легкоплавких примесей, которые ослабляют связь между зернами. Таким образом, металл вблизи границ может быть более прочным или менее прочным по сравнению с самим зерном.

Прочность границ зерен является необходимым условием прочности поликристалла. В случае слабой связи между зернами, прочность поликристаллического металла и его пластичность будут пониженными. Межкристаллитная деформация является нежелательной, так как даже небольшое развитие ее может привести к разрушению металла.

5. Наклеп и рекристаллизация

Как было показано выше, изменение формы и размеров поликристаллического металла в результате пластической деформации в той или иной мере связано с изменением формы отдельно взятого зерна. Поэтому при пластической деформации

металл претерпевает структурные изменения, что ведет к изменению механических и других свойств металла. В деформируемом металле с увеличением степени деформации увеличиваются его прочностные характеристики. Явление изменения структуры и увеличение механических свойств металла в процессе пластической деформации называется *наклепом или упрочнением*. Явление упрочнения в настоящее время объясняет теория дислокаций. Упрочнение — это увеличение сопротивляемости сдвигу, которое вызывается накоплением (повышением плотности) дислокаций при пластической деформации. Продвижение дислокаций по кристаллу затрудняется в связи со скоплением их у препятствий. Такими препятствиями могут быть другие дислокации, точечные дефекты кристаллов, границы зерен и т.д. В результате плотность дислокаций значительно возрастает. Так, предельная плотность дислокаций в упрочненном металле составляет 10^{11} – 10^{12} на 1 см^2 площади. Кроме того, упрочнение вызывается также торможением дислокаций в связи с измельчением зерен, искажением решетки металла, возникновением напряжений. Особенно эффективными "барьерами" для дислокаций являются границы зерен.

В результате пластической деформации при низкой температуре металл не только упрочняется, но также изменяются многие его свойства. Более интенсивно изменение свойств происходит в области малых деформаций. При больших деформациях свойства изменяются в меньшей степени.

На рис. 14 показан характер изменения свойств металла с увеличением степени пластической деформации. Кривая 1 характеризует изменение твердости НВ, предела прочности σ_B , предела текучести σ_T , растворимости в кислоте, электросопротивления и др. Кривая 2 характеризует удлинение δ и уменьшение поперечного сечения при растяжении, ударную

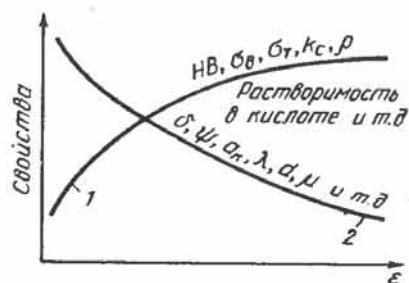


Рис. 14. Зависимость свойств металлов от степени пластической деформации

вязкость α_k , теплопроводность λ , плотность d и др. Применительно к механическим свойствам металлов следует отметить, что с увеличением степени пластической деформации характеристики прочности возрастают, а характеристики пластичности убывают.

Появление наклепа при деформации позволяет в широких пределах регулировать конечные свойства металлоизделий. Холодной пластической обработкой (прокаткой, волочением и др.) можно в 2–3 раза повысить предел прочности и увеличить предел текучести. Например, для стали, содержащей 0,3% С, при степени деформации $\epsilon = 70\%$ прочность σ_B увеличивается с 500 до 950 МПа.

С другой стороны, упрочнение заметно увеличивает сопротивление металла пластической деформации, а это увеличивает усилия, необходимые при деформировании. Одновременно с этим наклеп вызывает понижение пластических свойств металла, что приводит к опасности образования трещин, расслоений и других дефектов при дальнейшей деформации. Так, у той же стали с содержанием 0,3% С относительное удлинение δ , которое является одним из показателей пластических свойств, при степени деформации $\epsilon = 70\%$ снижается с 30 до 2%, т.е. примерно в 15 раз.

В наклепанном металле в результате пластической деформации происходит искажение кристаллической решетки. Атомы в такой решетке стремятся к перестройке, приводящей к уменьшению ее искажений, т.е. стремятся к более устойчивому состоянию. При низких температурах подвижность атомов мала. С повышением температуры она увеличивается, начинают развиваться процессы, которые приводят металл к равновесному состоянию.

Различают следующие стадии процесса устранения наклепа при нагреве: отдых (возврат), первичная рекристаллизация или рекристаллизация обработки, собирательная рекристаллизация или рост зерен, вторичная рекристаллизация.

Под *отдыхом (возвратом)* понимают частичное снятие напряжений и восстановление упруго искаженной кристаллической решетки путем перемещения атомов на небольшие расстояния, при нагреве металла на относительно невысокие температуры (ниже температуры рекристаллизации). Например, для железа до 100–400 °С. При отдыхе заметных изменений в микроструктуре не наблюдается, металл сохраняет

волокнутое строение. В результате отрыва твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает.

При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов заметно возрастает и происходят процессы рекристаллизации.

Рекристаллизацией называется процесс образования и роста новых зерен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры (температуры начала рекристаллизации). Этот процесс протекает в две стадии. Различают рекристаллизацию первичную (обработки) и собирательную.

Первичная рекристаллизация заключается в образовании зародышей и росте новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Зародыши новых зерен возникают у границ, и особенно в местах пересечения границ зерен, пачек скольжения двойников. В местах, связанных с наибольшими искажениями решетки при наклепе, происходит перемещение атомов, восстановление решетки и возникновение зародышей новых равноосных зерен. Вначале процесс протекает медленно, происходит зарождение центров кристаллизации, затем образуются мелкие зерна, которые растут и входят в непосредственное соприкосновение друг с другом. Стадия первичной рекристаллизации длится до тех пор, пока новые неискаженные зерна не заполнят весь объем металла.

Собирательная рекристаллизация является второй стадией процесса рекристаллизации и заключается в росте образовавшихся зерен. При этом одни зерна растут за счет других, за счет перехода атомов через границы раздела. Процессы собирательной рекристаллизации могут совершаться и до полного завершения первичной рекристаллизации. Результатом этого процесса может быть резкая неоднородность структуры по величине зерна.

Скорость рекристаллизации и характер конечной структуры зависят от многих факторов: степени предварительной деформации, температуры нагрева, скорости нагрева, скорости деформации, наличия примесей в сплаве и др. Основными из указанных факторов являются степень предварительной деформации и температура нагрева.

Самая низкая температура, при которой обнаруживаются новые зерна, называется *порогом рекристаллизации*, или *температурой рекристаллизации*. Установлено, что для чис-

тых металлов температура начала рекристаллизации может быть определена из соотношения $T_p \approx 0,4T_{пл}$, где T_p — абсолютная температура рекристаллизации; $T_{пл}$ — абсолютная температура плавления.

Ниже даны температуры рекристаллизации некоторых технически чистых металлов, °C:

Металл	$T_{пл}$	T_p	Металл	$T_{пл}$	T_p
Вольфрам	3400	1200	Алюминий	660	100
Молибден	2625	900	Цинк	419	Комнатная
Железо	1535	450	Свинец	327	Ниже комнатной
Медь	1084	200	—	—	—

При нагреве металла до T_p происходит возврат — восстановление искаженной кристаллической решетки. Металл сохраняет волокнутое строение. Начиная с температуры T_p происходит первичная рекристаллизация, которая завершается образованием новых мелких зерен. При более высоком нагреве металла наблюдается рост зерен — происходит собирательная рекристаллизация.

С началом рекристаллизации происходит существенное изменение свойств металла, которое противоположно изменению свойств металла при наклепе. При повышении температуры происходит разупрочнение металла, понижается прочность и твердость, а также электросопротивление и другие свойства, которые повышаются при наклепе. В то же время увеличиваются пластичность, а также вязкость, теплопроводность и другие свойства по сравнению с наклепанным состоянием.

При обработке металла давлением процессы упрочнения (наклепа) и разупрочнения (рекристаллизационного отжига) протекают одновременно. Эти процессы обусловлены условиями деформации (температурой, скоростью, степенью деформации), происходят во времени, с определенными скоростями, а также зависят от природы деформируемого металла.

При холодной деформации главенствует упрочнение, а процессы разупрочнения (возврата и рекристаллизации) полностью отсутствуют. В результате плотность и пластичность уменьшаются, металл охрупчивается, при высоких степенях деформации образуется текстура. При холодной деформации температура не должна быть выше $0,3 T_{пл}$. В результате тепловой деформации рекристаллизация и разупрочнение прохо-

дят не полностью, структура металла может быть полосчатой (волоконистой) без следов рекристаллизации, а при значительной деформации наблюдается текстура деформации. Пластические свойства такого металла выше, чем металла, деформированного при отсутствии возврата, а прочностные свойства несколько ниже. Температура неполной холодной деформации равна $0,3 + 0,5 T_{пл}$.

6. Пластичность металлов и сопротивление металлов пластической деформации

Пластичностью называют свойство металла под действием сил изменять свою форму и размеры без разрушения. Пластичность представляет собой сложную характеристику металла и зависит от целого ряда факторов. Основными факторами, определяющими пластичность металла при обработке давлением, являются химический состав и структура металла, температура, скорость деформации, а также схема напряженного состояния.

В значительной степени на пластичность влияет *химический состав* металла. Наибольшую пластичность проявляют чистые металлы. Примеси, и даже ничтожное их содержание, как правило, значительно снижают пластичность. Примеси, растворяясь в небольших количествах, образуют хрупкие сетки по границам зерен. Такие примеси называют вредными. Например, в меди такими примесями являются висмут, сурьма или мышьяк. Для технически чистого железа вредными примесями являются сера, фосфор и др. Вместе с тем некоторые примеси повышают пластичность, подавляя вредное влияние других примесей. Так, в стали содержание углерода до 0,8–1% незначительно уменьшает пластичность металла. Дальнейшее повышение содержания углерода приводит к тому, что сталь в литом состоянии можно обрабатывать только ковкой.

При рассмотрении влияния *структуры металла* на пластичность различают литую структуру и деформированную. Металл в литом состоянии обладает меньшей пластичностью, чем в деформированном состоянии. Структурная неоднородность литого металла, которая выражается в различном строении дендритов, дендритной и зональной ликвации, наличии неплотностей и неравномерном распределении примесей снижает его пластичность.

После горячей пластической деформации литого металла структурная неоднородность его уменьшается и повышается его пластичность.

Как правило, пластичность металлов повышается с *повышением температуры*. Наибольшую пластичность металлы имеют между температурой рекристаллизации T_r и температурой плавления $T_{пл}$. Пластичность с ростом температуры увеличивается не монотонно. Это объясняется тем, что некоторые примеси и легирующие добавки образуют легкоплавкие соединения (эвтектики), которые при некоторых температурах резко уменьшают пластичность. Так, технически чистое железо обнаруживает хрупкость при температурах 900–1000 °С в связи с расплавлением FeS при 985 °С, располагающегося по границам зерен (явление красноломкости).

Когда температура нагрева близка к температуре плавления, пластичность резко снижается из-за перегрева и перегжога.

Действие *скорости деформации* на пластичность при горячей деформации зависит от протекающих одновременно в металле двух процессов: упрочнения (наклепа) и разупрочнения (рекристаллизации). Скорость упрочнения металла определяется скоростью деформации, а скорость разупрочнения — скоростью рекристаллизации, которая зависит от температуры нагрева металла.

С увеличением скорости деформации при холодной обработке давлением в обрабатываемом металле выделяется больше тепла деформации, которое может вызывать отчасти развитие процесса разупрочнения и, следовательно, повысить пластичность металла.

При обработке давлением большое влияние на пластичность металла оказывает *схема напряженного состояния*. Положительное влияние на пластичность оказывают сжимающие напряжения, а отрицательное — растягивающие. Проявление пластических свойств металла зависит не только от того, какие напряжения к нему приложены — растягивающие или сжимающие, но и от величины этих напряжений, которая определяется значением среднего (гидростатического) давления:

$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3}, \quad (10)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения.

В зависимости от того, какие по величине и по знаку прикладываются к обрабатываемому материалу напряжения, он может находиться в хрупком или пластическом состоянии. Например, в условиях всестороннего растяжения весьма пластичные материалы, как низкоуглеродистая сталь, переходят в хрупкое состояние. С другой стороны, при всестороннем сжатии такие хрупкие по своей природе материалы, как песчаник и мрамор, могут обладать пластичностью, т.е. устойчиво изменять свои форму и размеры без разрушения. Некоторые металлы (например, магний и его сплавы, ряд жаропрочных сплавов и др.) успешнее пластически деформируются тогда, когда более ярко проявляется схема всестороннего сжатия. Поэтому на практике при обработке металлов давлением стремятся создать схему, близкую к всестороннему сжатию, которая обеспечивает самую высокую пластичность.

Все металлы и сплавы по возможности деформироваться можно условно разделить на следующие категории:

а) наивысшей пластичности ($>0,8 \epsilon$), б) высокой пластичности ($0,6-0,8 \epsilon$), в) средней пластичности ($0,4-0,6 \epsilon$), г) пониженной пластичности ($0,2-0,4 \epsilon$), д) низкой пластичности ($<0,2 \epsilon$).

подавляющее большинство применяемых в настоящее время промышленных сталей по своим пластическим свойствам относятся к категории высокой и даже наивысшей пластичности.

К категории средней и высокой пластичности относится большинство легированных сталей. Многие высоколегированные стали и сплавы обладают средней и в ряде случаев пониженной пластичностью.

Наряду с пластичностью важной технологической характеристикой металлов является сопротивление пластической деформации. Эта характеристика дает количественную оценку податливости обрабатываемого металла и имеет большое значение при назначении технологических режимов прокатки металла, определяя силовые условия процесса. Чем выше сопротивление деформации металла, тем ниже его податливость обработке давлением и тем труднее его обрабатываемость. Металл, обладающий большим сопротивлением деформации, обрабатывают с меньшими обжатиями и при этом используют большие усилия и более мощное оборудование.

Сопротивление пластической деформации при обработке давлением также зависит от ряда факторов: химического состава металла; температуры, при которой деформируется металл; скорости и степени деформации металла; напряженного состояния деформируемого металла.

В общем виде величину сопротивления пластической деформации можно выразить формулой

$$P_{ср} = \sigma_{св} n_{\sigma}, \quad (11)$$

где $\sigma_{св}$ — сопротивление деформации, характеризующее свойства деформируемого металла, n_{σ} — коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния. Величины $\sigma_{св}$, n_{σ} представляют собой произведения коэффициентов, которые соответственно учитывают влияние на сопротивление пластической деформации целого ряда факторов: температуры n_T ; скорости деформации n_v ; наклепа n_{ϵ} ; контактного трения $n_{\sigma'}$; внешних зон $n_{\sigma''}$; натяжения $n_{\sigma'''}$; предела текучести:

$$\sigma_{св} = \sigma_T n_T n_v n_{\epsilon};$$

$$n_{\sigma} = n_{\sigma'} n_{\sigma''} n_{\sigma'''}$$

Рассмотрим некоторые из них. Химический состав обрабатываемого металла, его кристаллическая решетка в значительной степени влияют на сопротивление пластической деформации. Тугоплавкие металлы имеют более высокие значения сопротивления пластической деформации, чем легкоплавкие. Как видно из вышеприведенных формул, величина $\sigma_{св}$ находится в прямой зависимости от предела текучести σ_T . Как правило, легирующие примеси повышают сопротивление пластической деформации. Температура является наиболее сильно действующим фактором. Понижение сопротивления пластической деформации с повышением температуры часто не имеет плавный характер.

При относительно низких температурах, ниже T_p , существенное влияние на сопротивление пластической деформации оказывает наклеп (упрочнение). При наклепе сопротивление деформации металлов повышается. Это явление наблюдается при холодной прокатке у большинства металлов, за исключением свинца и олова, температура рекристаллизации которых не превышает комнатную температуру.

При горячей обработке металлов влияние наклепа тесно

связано с влиянием скорости деформации, т.е. приращением степени деформации за единицу времени. Сущность этого явления заключается в следующем. При деформировании металла протекающая в нем рекристаллизация осуществляется противоположно процессу наклепа. Однако скорость рекристаллизации в большинстве случаев отстает от скорости деформации и, тем самым, не полностью снимается наклеп металла. Следовательно, чем выше скорость деформации, тем меньше полнота протекания рекристаллизации, и тем выше сопротивление пластической деформации.

7. Методы оценки пластичности

Для различных технологических процессов обработки металлов широко используются соответствующие показатели пластичности, которые получают при различных методах определения пластичности металлов.

При испытании металла на разрыв характеристиками пластичности служат относительное удлинение образца в момент разрушения

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (12)$$

где l_0 — расчетная длина образца и l — длина образца после разрыва и относительное сужение образца

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

где F_0 — площадь поперечного сечения исходного образца и F — площадь поперечного сечения образца после испытания.

Другим способом определения пластичности металла является "проба на осадку" (или на сжатие), когда пластичность оценивается величиной деформации осаживаемых цилиндрических образцов, при которой начинают появляться трещины на боковой поверхности. Величиной пластичности в этом методе является относительное укорочение

$$\Delta = \frac{H - h}{H} \cdot 100 \%, \quad \text{где } H — \text{начальная высота образца и } h — \text{высота образца после сжатия.}$$

Испытание металлов на ударную вязкость является динамическим испытанием пластичности металла. Характеристика ударной вязкости вычисляется по формуле:

$$a_n = A/F, \quad (14)$$

где F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания, см^2 ; A — работа деформации образца, Дж*.

Кроме указанных методов, применяют также такие, которые приближаются по условиям деформации к тем или иным технологическим процессам обработки давлением, и в этом случае определяется так называемая "технологическая пластичность". Так, при горячей прокатке пластичность металлов оценивают при помощи клиновидных образцов. В этом случае показателем пластичности является относительное обжатие, соответствующее появлению первой трещины на боковой поверхности образца. При осуществлении процесса холодной прокатки при определении пластичности металла получают значение числа перегибов до разрушения в методегиба и глубины сферической лунки при пробе по Эриксону.

8. Условия постоянства объема.

Закон наименьшего сопротивления

При прокатке объем деформируемого металла несколько изменяется: уменьшается при горячей прокатке и несколько увеличивается при холодной.

Однако, это изменение незначительно и им можно пренебречь, что заметно облегчает расчеты, относящиеся к изменению формы и размеров обрабатываемого металла.

При прокатке условие постоянства объема может быть выражено следующим равенством: $F_0 L = F_1 l$, где F_0 и F_1 — площадь поперечного сечения полосы до и после прокатки; L и l — длина полосы до и после прокатки.

Отсюда для полос прямоугольного сечения получим

$$HBL = hbl,$$

где H и B — высота и ширина полосы до прокатки; h и l — высота и ширина полосы после прокатки.

Из условия постоянства объема имеем

$$HBL/hbl = 1. \quad (15)$$

* 1 кг·м = 9,81 Дж.

Пользуясь этим равенством, можно определить отдельные размеры полосы, задавшись остальными.

При осадке параллелепипеда с трением на контактной поверхности возникает сопротивление течению металла, которое различно в направлении ширины и длины образца.

Направление течения металла в этом случае определяют на основании закона наименьшего сопротивления, который можно сформулировать следующим образом: в случае возможности перемещения точек деформированного тела в различных направлениях каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления. По этому закону частицы всегда перемещаются по кратчайшим путям, которые характеризуются наименьшим сопротивлением движению металла. В случае осадки, например, цилиндрического образца, все его частицы перемещаются по кратчайшим путям — по радиусам.

При прокатке схемы течения металла не наблюдаются в чистом виде, а занимают промежуточное положение между схемой с отсутствием трения и схемой с наличием большого трения. Следовательно, деформация в длину и ширину зависит не только от соотношения исходных размеров длины и ширины поперечного сечения, но также и от наличия трения.

На рис. 15 показана схема перемещения металла при прокатке. Линии раздела показывают те направления, по которым возможно перемещение металла при его обжатии валками.

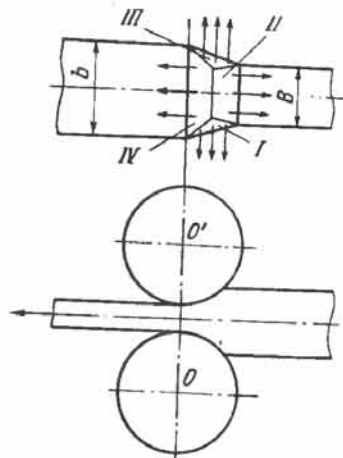


Рис. 15. Схема перемещения металла при прокатке

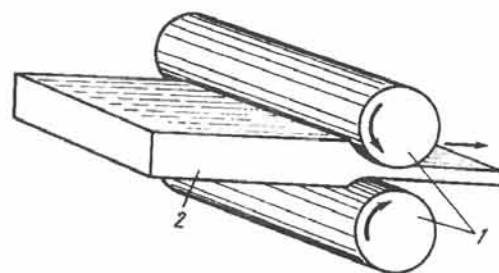


Рис. 16. Прокатка прямоугольной полосы в валках с гладкой цилиндрической бочкой: 1 — валки; 2 — прокатываемая полоса

Деформация в направлениях I и III соответствует меньшим сторонам фигуры и будет мала. Течение металла в этих направлениях называется уширением металла. В направлениях II и IV, соответствующих большим сторонам, деформация будет большая. В первом случае деформация вызывает течение металла против движения полосы. Во втором — происходит течение металла по ходу полосы, вызывая так называемое опережение. Следует учесть, что границы между направлениями II и IV при прокатке в достаточной мере условны.

9. Очаг деформации при прокатке, его параметры, характеристики деформации

Наиболее распространенным видом прокатки является *продольная прокатка*, которой производят листы, полосы, ленты, сортовой металл разнообразного поперечного сечения.

Процесс продольной прокатки осуществляется обжатием металла, находящегося между двумя валками, которые вращаются в разных направлениях. Рассмотрим простейший случай прокатки прямоугольной полосы в валках с гладкой цилиндрической бочкой, при этом примем одинаковыми диаметры валков и их окружные скорости (рис. 16). В процессе прокатки полоса втягивается в зазор между валками силами трения, которые появляются при соприкосновении металла с валками. В процессе прокатки одновременно деформируется не весь объем металла, а только его небольшая часть, находящаяся в зазоре между валками. Эту часть металла называют очагом деформации. Продольное сечение очага деформации представляет собой форму объема материала, заключенного между поверхностями соприкосновения прокатываемого металла и валков (рис. 17). Эти поверхности называются *контактными*. Объем металла, заключенный между контактными поверхностями, определяется сечением $ABA'B'$. Однако пластическая деформация распространяется и на области, прилегающие к объему $ABB'A'$, т.е. металл начинает деформироваться до входа в сечение AA' и продолжает деформироваться после выхода из сечения BB' . Эти области расположены вне контакта металла с валками и называются *внеконтактными* зонами деформации, а объем $ABB'A'$ принято называть контактной зоной деформирования или *геометрическим очагом деформации*.

При прокатке прямоугольной полосы в гладких, цилиндрических валках одинакового диаметра форма геометрического очага деформации характеризуется следующими параметрами: H — высота полосы перед входом в валки (до прохода); h — высота полосы после выхода из валков (после прохода); R — радиус валков; B — ширина полосы до прохода; b — ширина полосы после прохода; l_d — длина геометрического очага деформации; α — угол захвата; F_k — площадь контактной поверхности.

Величины H , h , B , b , R обычно бывают заданы, а остальные определяются расчетным путем.

Длина геометрического очага деформации $l_d = AC$. Из треугольника AOC получим

$$l_d = AC = \sqrt{(OA)^2 - (OC)^2},$$

но так как $OA = R$, а $OC = R - \frac{\Delta h}{2}$,

$$l_d = \sqrt{R^2 - (R - \Delta h/2)^2} = \sqrt{R\Delta h - \Delta h^2/4}.$$

Из-за малости величины $\Delta h^2/4$, ею можно пренебречь, отсюда получим удобную для расчета формулу

$$l_d = \sqrt{R\Delta h}. \quad (16)$$

Полученная формула показывает, что при увеличении диаметра валка или обжатия длина контактной поверхности возрастает. Угол захвата также можно определить из треугольника AOC , вычислив косинус угла α :

$\cos \alpha = OC/OA$, но

$$OC = OB - CR = R - \Delta h/2; \text{ а}$$

$$OA = R.$$

Подставляя значения отрезков OC и OA в формулу значения косинуса, получим:

$$\cos \alpha = 1 - (\Delta h/2R) = 1 - (\Delta h/D). \quad (17)$$

Вычислив значение $\cos \alpha$, определяем угол захвата α по таблицам тригонометрических функций.

Если заменить дугу AB хордой, то можно получить более

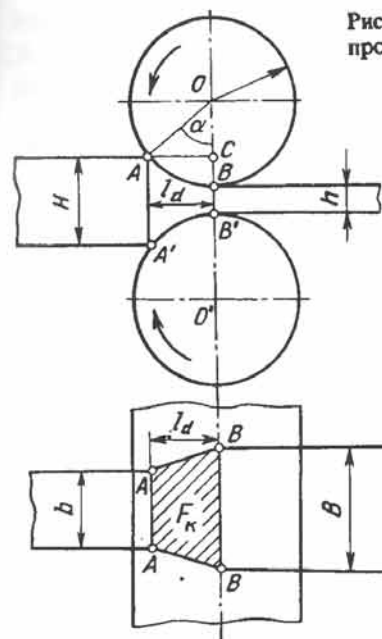


Рис.17. Схема очага деформации при прокатке

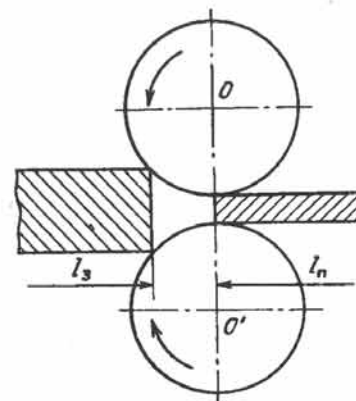


Рис.18. Схема установившегося процесса прокатки

простую, но менее точную, хотя удобную для практических расчетов формулу

$$\alpha = 57,3 \sqrt{\Delta h/R}. \quad (18)$$

Полученные формулы характеризуют зависимость между углом захвата, обжатием и диаметром валка. По ним не только определяют угол захвата, но и оценивают влияние изменений диаметра и обжатия на его величину. Угол захвата увеличивается при увеличении обжатия и уменьшении диаметра валка.

Площадь поверхности контакта полосы с валком F_k определяется умножением средней ширины полосы на длину контактной поверхности

$$F_k = 0,5 (B + b) l_d = b_{cp} l_d. \quad (19)$$

Если уширение полосы очень мало, т.е. $B \approx b$, то эта формула еще более упрощается

$$F_k = B l_d = B \sqrt{R\Delta h}. \quad (20)$$

Из полученных формул видно, что площадь контактной

поверхности увеличивается при увеличении ширины прокатываемой полосы, обжатия и диаметра валков. К основным параметрам геометрического очага деформации относятся также величины $\Delta h = (H - h)$, называемая *абсолютным обжатием*, $\Delta b = (B - b)$ — *абсолютным уширением* и $\Delta l = (L - l)$ — *абсолютным удлинением*. Абсолютные деформации неполно характеризуют величину деформации, так как не учитывают размеры полосы, поэтому величины деформации более полно можно оценить относительными деформациями. Относительные деформации представляют собой отношение абсолютной деформации к начальному (или конечному) размеру полосы.

$\epsilon_1 = \frac{H - h}{H}$ — *относительная высотная деформация (обжатие)*;

$\epsilon_2 = \frac{L - l}{L}$ — *относительная продольная деформация (удлинение)*;

$\epsilon_3 = \frac{B - b}{B}$ — *относительная поперечная деформация (уширение)*.

Различие между значениями деформации, отнесенными к начальному ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$) и конечным ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$) размерам, при небольших деформациях незначительно, а при больших деформациях это различие сильно возрастает. На практике чаще пользуются деформациями, отнесенными к начальным размерам полосы.

Отношения размеров полосы, полученных после деформации, к соответствующим размерам до деформации называются коэффициентами деформации. Отношение $\frac{h}{H} = \eta$ характеризует деформацию по высоте и называется *коэффициентом высотной деформации*.

Отношение $\frac{l}{L} = \mu$ характеризует деформацию по длине и называется *коэффициентом продольной деформации (вытяжка)*.

Отношение $\frac{b}{B} = \lambda$ характеризует деформацию по ширине или поперечную деформацию и называется *коэффициентом поперечной деформации*.

Коэффициенты η, μ, λ связаны между собой на основании

условия постоянства объема, учитывая, что $\frac{h}{H} = \eta$,

$$\frac{l}{L} = \mu, \quad \frac{b}{B} = \lambda,$$

получим $\eta \cdot \mu \cdot \lambda = 1$. (21)

Таким образом, произведение коэффициентов высотной, поперечной и продольной деформации равно единице.

Между коэффициентами деформации и относительными деформациями существует простая связь:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{H - h}{H} = 1 - \frac{h}{H} = 1 - \eta; \\ \epsilon_2 &= \frac{L - l}{L} = 1 - \frac{l}{L} = 1 - \mu; \\ \epsilon_3 &= \frac{B - b}{B} = 1 - \frac{b}{B} = 1 - \lambda. \end{aligned} \quad (22)$$

Процесс прокатки в общем случае можно разделить на три стадии: захват полосы металла, установившийся процесс прокатки металла и выброс его.

Захват полосы является началом процесса прокатки. При захвате происходит заполнение пространства между валками. В начальный момент прохождения полосы изменяются параметры процесса прокатки: коэффициенты деформации; площадь контактной поверхности; давление на валки и др. В этот момент процесс прокатки имеет неустановившийся характер, и только после того, как полоса выйдет из валков на некоторое расстояние l_n , процесс прокатки стабилизируется (рис. 18).

Неустановившийся характер имеет также *выброс* полосы из валков. И в этом случае изменяются геометрические параметры деформации, характер напряжений и деформаций и силовые взаимодействия металла и валков, как только длина заднего конца полосы уменьшится до некоторого размера l_3 . Это связано со снижением влияния задней внешней зоны, которая исчезает, когда задний конец полосы входит в пространство между валками.

Захват и выброс полосы происходят у самых концов полосы и значения l_n и l_3 достигают в некоторых случаях нескольких сантиметров. Основная же часть длины полосы прокатывается в условиях установившегося процесса.

10. Условия захвата полосы валками

Процесс прокатки обеспечивается наличием сил трения, действующих между поверхностями валков и металла.

При соприкосновении полосы с валками (рис. 19) на полосу со стороны валков действуют силы трения T , направленные по касательной к поверхности валков, и две силы N , которые направлены нормально (вдоль радиуса) к поверхности валков. Горизонтальная проекция T_x силы трения стремится втянуть полосу в валки. Горизонтальная проекция N_x нормальной силы стремится вытолкнуть полосу из валков.

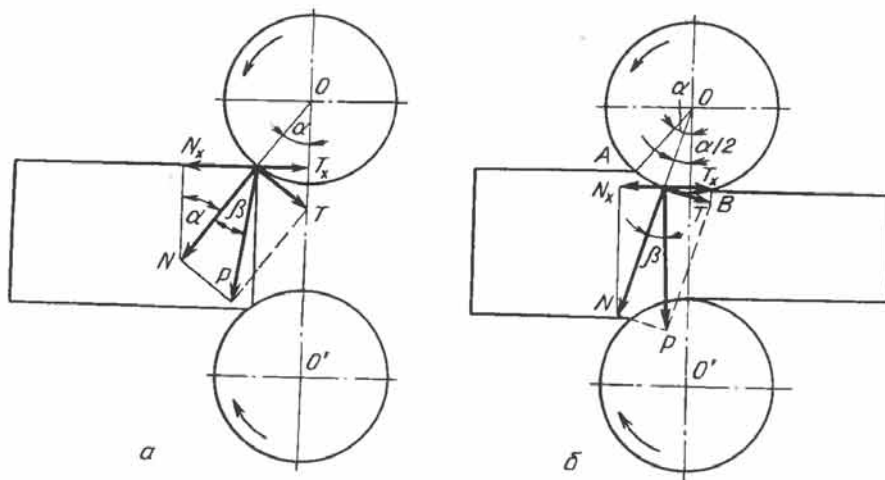


Рис. 19. Схема действия сил на полосу:
а — при захвате валками; б — при установившемся процессе

Угол β называется *углом трения при захвате*. Тангенс угла трения для малых значений коэффициента трения f равен коэффициенту трения:

$$f = \operatorname{tg} \beta \approx \beta. \quad (23)$$

В зависимости от отношения T_x и N_x возможны три случая.

Если $T_x > N_x$, получим условие захвата

$$f > \operatorname{tg} \alpha. \quad (24)$$

Таким образом, имеем

$$f = \operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \alpha \text{ или } \delta > \alpha.$$

При $T_x > N_x$ равнодействующая сила P отклоняется от вертикали в сторону прокатки. Угол трения β в этом случае больше угла захвата α , и полоса захватывается валками и происходит переход от естественного захвата полосы валка к установившемуся процессу.

В случае $T_x < N_x$ угол трения β меньше угла захвата α , т.е. $\beta < \alpha$ и захват полосы валками невозможен. При $T_x = N_x$ угол трения β равен углу захвата α . Для этого случая вероятность захвата и отталкивания полосы валками одинакова. В процессе захвата полосы валками схема сил, действующих на полосу, все время изменяется. Такой процесс прокатки называется *неустановившимся*.

После выхода переднего конца полосы из валков величина и положение равнодействующих сил нормального давления и сил трения в процессе прокатки не изменяются (за исключением прокатки заднего конца). Такой процесс прокатки называется *установившимся*. Соприкосновение металла с валками в установившемся процессе происходит по всей дуге контакта. Точку приложения равнодействующей нормальных сил N можно принять расположенной в середине дуги захвата AB . В этой же точке приложена и равнодействующая сил трения T .

При равномерном движении полосы в установившемся процессе прокатки силы, действующие в направлении движения (прокатки), должны быть уравновешены, т.е. $N_x = T_x$,

$$\text{но } N_x = N \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ а } T_x = T \cos \frac{\alpha}{2} = N f \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (25)$$

приравняв значения N_x и T_x и поделив обе части полученного уравнения на $\cos \frac{\alpha}{2}$, получим $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = f = \operatorname{tg} \beta$ и, следовательно, $\beta = \frac{\alpha}{2}$ или $\alpha = 2\beta$.

Отсюда можно сделать важный вывод: установившийся процесс прокатки может устойчиво протекать при угле трения β (или коэффициенте трения f) в два раза меньшем, чем при неустановившемся процессе, т.е. при $\beta = \frac{\alpha}{2}$. С другой стороны, при этом же угле трения β (коэффициент трения f) угол захвата при установившемся процессе мог бы быть в два раза больше, т.е. обжатие полосы ($\Delta h = H - h$) за проход могло бы быть увеличено в два раза.

Таким образом, зависимость $\alpha = 2\beta$ показывает, что при установившемся процессе по сравнению с условиями при захвате имеются резервные силы трения.

В практических условиях с целью увеличения производительности прокатку необходимо производить с максимальными обжатиями, т.е. при максимальных углах захвата. С другой стороны, захват полосы валками должен быть надежным, т.е. не должно быть проскальзывания валков по передним кромкам полосы и пробуксовки металла во время прокатки. В общем случае на захват металла влияют: изменение угла захвата; изменение коэффициента трения; исходная толщина полосы; диаметр валков; температура прокатываемого металла; облегчение условий захвата и др.

При данном коэффициенте трения, скорости прокатки, качестве валков и других факторах с уменьшением угла захвата α захват металла валками облегчается. Это может быть достигнуто как увеличением диаметра валков при заданном обжатии, так и уменьшением обжатия Δh при заданном диаметре валков.

С увеличением угла трения β (коэффициент трения f) увеличивается максимально возможный угол захвата и, следовательно, увеличивается возможность увеличения обжатия за проход.

Чем больше толщина полосы при постоянном диаметре валков и зазорах между ними, тем больше угол захвата, т.е. при $H_1 > H_2$ — $\alpha_1 > \alpha_2$ (рис. 20). Следовательно, при постоянной настройке валков условия захвата более тонких полос лучше, чем толстых.

С изменением диаметра валков при одной и той же толщине задаваемой полосы также изменяется угол захвата (рис. 21). Как видно из рисунка, с увеличением диаметра

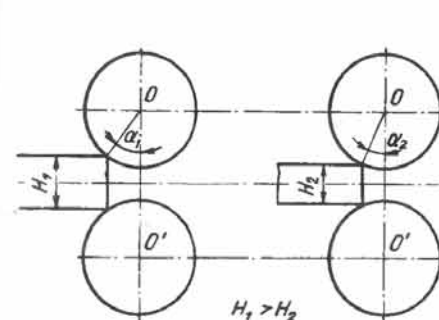


Рис. 20. Схема зависимости угла захвата от толщины полосы

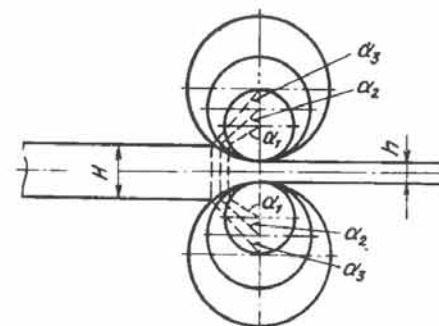


Рис. 21. Схема зависимости угла захвата от диаметра валков

валков угол захвата уменьшается и захват металла облегчается.

Угол захвата во многом зависит от пластичности прокатываемого металла. Чем выше пластичность, тем лучше захват. Снижение температуры металла ухудшает условие захвата вследствие повышения сопротивления деформации металла.

На практике облегчение условий захвата полосы при ее соприкосновении с валком осуществляется обеспечением соприкосновения металла с валком не в точке, а по дуге, т.е. задачей конусного слитка тонким концом вперед или предварительным заострением конца полосы и увеличением силы, вытягивающей полосу в валки. С этой целью к полосе в момент захвата прикладывают дополнительную силу, действующую в одном направлении с вытягивающей силой T_x .

Значения максимальных углов захвата, которые применяют на практике, следующие:

Вид прокатки	Угол захвата, град	Вид прокатки	Угол захвата, град
Холодная прокатка со смазкой на хорошо отшлифованных валках	3—4	Горячая прокатка сортового металла	22—24
Холодная прокатка без смазки на грубых валках	6—8	Горячая прокатка на валках с насечкой или наваркой	27—34
Горячая прокатка листов	15—22		

11. Опережение и отставание

Опережением S называется величина, которая показывает, насколько скорость выхода полосы из валков V_1 больше окружной скорости валков V_b и рассчитывается по формуле

$$S = \frac{V_1 - V_b}{V_b} \quad (26)$$

Опережение обычно подсчитывается по формуле:

$$S = \frac{V_1 - V_b}{V_b} \cdot 100 \% \quad (27)$$

Отставанием S_o называется величина, которая характеризует соотношение скоростей полосы и валков на входе в очаг деформации. Скорость входа полосы в валки V_o меньше окружной скорости валков V_b . Отставание рассчитывается по формулам:

$$S_o = \frac{V_b - V_o}{V_b} \quad (28)$$

$$S_o = \frac{V_b - V_o}{V_b} \cdot 100 \% \quad (29)$$

Связь между опережением и отставанием можно описать формулой

$$S_o = 1 - \frac{1+S}{\mu \cdot \cos \alpha} \quad (30)$$

где S_o — отставание; S — опережение; μ — вытяжка; α — угол захвата. Вследствие наличия опережения и отставания можно записать $V_n > V_b > V_p$, т.е. скорость полосы, выходящей из валков, больше окружной скорости валков. Окружная же скорость валков больше скорости полосы, входящей в валки. Отсюда следует, что в очаге деформации существует такое сечение, в котором скорость движения металла равна окружной скорости валков. Положение этого сечения определяется углом γ , который в соответствующем ему сечении называют *нейтральным* или *критическим*. Силы трения T , возникающие по поверхности соприкосновения металла с валками по отно-

шению к нейтральному сечению, будут направлены в разные стороны.

Если известно положение нейтрального сечения, то значение опережения можно вычислить, например, по формуле Эжелунда:

$$S_1 = (R/h - 0,5) \gamma^2, \quad (31)$$

где S_1 — опережение; R — радиус валка; h — толщина прокатываемой полосы, мм, после выхода из валков; γ — значение критического угла, рад.

При прокатке полос малой толщины, когда отношение R/h значительно больше 0,5 и вторым членом в скобке формулы можно пренебречь, в этом случае получаем формулу Дрездена:

$$S_1 = R/h \gamma^2. \quad (32)$$

Значение угла γ можно определить по формуле И.М. Павлова

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right), \quad (33)$$

где α — угол захвата; β — угол трения.

Использование формулы (33) для подсчета опережения по формулам (31) и (32) дает хорошее совпадение с опытами при прокатке тонких полос, когда отношение l/h_{cp} велико, а уширение практически отсутствует. При прокатке толстых полос подсчеты опережения по этим формулам могут привести к значительным ошибкам, вследствие допущений, сделанных при выводе формулы (33).

Существует широко распространенный метод определения опережения, не требующий прямого измерения скоростей полосы и валков. В этом методе с помощью керн или сверла на поверхности валка наносят две отметки на расстоянии l_b (рис. 22). После прокатки на полосе остаются отпечатки, расстояние между которыми равно l_p . Измерив величины l_b и l_p , подсчитывают величину опережения по формуле

$$S = \frac{l_b - l_p}{l_b} \quad (34)$$

Величина опережения, определенная по этой формуле,

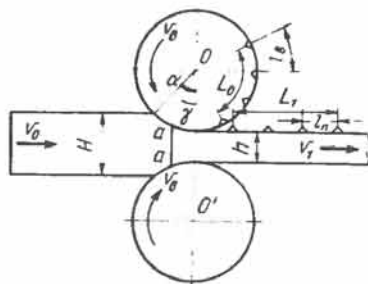


Рис.22. Схема определения опережения методом кернов (а—а—нейтральное сечение)

совпадает с величиной опережения, определенной по формуле (36).

При горячей прокатке расстояние между отпечатками измеряется после охлаждения полосы. Поэтому необходимо учитывать поправку на температурную усадку:

$$L_1 = L'_1 [1 + \alpha(T_1 + T_2)],$$

где T_1 и T_2 — температура металла при прокатке и измерении; L_1 и L'_1 — расстояние между отпечатками на полосе при температуре прокатки и измерении; α — температурный коэффициент линейного расширения.

Коэффициент линейного расширения α может быть принят для углеродистых сталей $13 \cdot 10^{-6}$; для аустенитных сталей $(16-20)10^{-6}$. Метод керновых отпечатков ввиду его простоты применяется не только в лабораторных, но и в производственных условиях.

Большой практический интерес представляют величины опережения и отставания при непрерывной прокатке, когда металл одновременно деформируется в нескольких клетях. В этом случае при несоответствии скоростей может происходить либо значительное петлеобразование, либо сильное натяжение полосы. Петлеобразование может привести к авариям стана, натяжение же — к невыполнению профиля, что является причиной брака прокатной продукции.

На величину опережения влияет изменение любого геометрического или физического фактора прокатки. К этим факторам следует отнести диаметр валков, толщину полосы, коэффициент трения, натяжение полосы и др. Как видно из формул (32) и (33), с увеличением диаметра валков и угла трения опережение повышается. С увеличением конечной толщины полосы опережение уменьшается, что является

следствием падения относительного обжатия в зоне опережения. Опережение увеличивается при наличии в процессе прокатки переднего натяжения и заднего подпора и, наоборот, уменьшается при наличии заднего натяжения и переднего подпора. Величина опережения при прокатке полос в гладких валках колеблется обычно в пределах 3–10 %. При прокатке в калибрах величина опережения может несколько возрасть.

12. Вытяжка и уширение

Целью процесса прокатки является продольная деформация металла, характеристикой которой является *вытяжка* металла μ . Использование выражения $\mu = l/L$ для подсчета не всегда удобно, так как часто известна начальная (исходная) длина заготовки и неизвестна длина заготовки после прохода. Удобное для практического использования выражение для подсчета вытяжки можно получить, записав закон постоянства объема в виде

$$\mu = \frac{l}{L} = \frac{HB}{hb} = \frac{F_0}{F_1}. \quad (35)$$

Из этого выражения видно, что вытяжка за проход равна отношению начальной площади поперечного сечения полосы к площади поперечного сечения после прохода.

При прокатке в несколько проходов вытяжка может быть частной и общей. Частной вытяжкой называется вытяжка в каждом отдельном проходе. Общей вытяжкой называется отношение длины исходного слитка (или заготовки) к длине готового продукта.

За n проходов *общий коэффициент вытяжки* составляет:

$$\mu_{\text{общ}} = \frac{F_0}{F_n}. \quad (36)$$

Таким образом, общая вытяжка за несколько проходов равняется произведению частных вытяжек. Если все частные вытяжки одинаковы, то $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n = \mu_{\text{ср}}$. Значение $\mu_{\text{ср}}$ называют *средней вытяжкой*. В этом случае выражение для определения полной вытяжки принимает следующий вид:

$$\mu = \mu_{\text{ср}}^n, \quad \text{откуда } \mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\mu}. \quad (37)$$

Для определения числа операций n , исходя из заданных μ и $\mu_{\text{ср}}$, прологарифмируем уравнение (37) $\ln \mu = n \ln \mu_{\text{ср}}$, откуда

$$n = \frac{\ln \mu}{\ln \mu_{\text{ср}}} = \frac{\ln \frac{F_0}{F_n}}{\ln \mu_{\text{ср}}}.$$

Понятие средней вытяжки позволяет сравнивать различные процессы прокатки по интенсивности или же рассчитывать процессы прокатки по заданной интенсивности. Из двух процессов более интенсивным, более производительным будет тот, который проходит с большей средней вытяжкой.

При обжатии полосы в валках металл течет не только в продольном, но и в поперечном направлении. Увеличение размеров полосы по ширине называется *уширением* (рис. 23). Оно определяется как абсолютное изменение размеров полосы по ширине

$$\Delta b = b - B. \quad (38)$$

Более правильную характеристику деформации полосы в поперечном направлении дает величина относительного уширения

$$\epsilon_2 = \frac{b - B}{B} = \frac{b}{B} - 1.$$

Уширение в большинстве случаев отрицательно влияет на процесс прокатки. Оно снижает общую вытяжку при прокатке и вызывает появление на боковых кромках прокатываемой полосы значительных напряжений растяжения. От величины уширения зависит также опережение и давление металла на

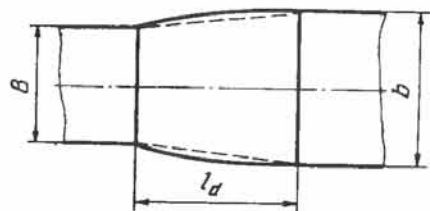


Рис. 23. Схема очага деформации в плане

валки при прокатке, которые при прочих равных условиях уменьшаются с ростом уширения. Знание влияния уширения особенно важно при прокатке металла в калибрах и узких полос на гладкой бочке.

Различают уширение свободное, ограниченное, или стесненное, и вынужденное.

Свободное уширение наблюдается при прокатке в гладких валках, где поперечное течение металла сдерживается только силами трения. Для прокатки листов и лент характерно свободное уширение. Уширение и вытяжка образуются за счет объема металла, смещаемого по высоте полосы. При увеличении обжатия должны увеличиваться и уширение и вытяжка. Соотношение между удлинением и уширением определяется законом наименьшего сопротивления. На уширение влияют обжатие, диаметр валков, ширина полосы, коэффициент трения, натяжение концов полосы, форма калибров. С ростом обжатия уширение увеличивается. Это объясняется тем, что увеличивается смещенный объем металла как в продольном, так и в поперечном направлениях. Кроме того, с увеличением обжатия растет длина очага деформации l_d , что ведет к возрастанию сил трения в продольном направлении полосы и затруднению вытяжки и способствует росту уширения.

Увеличение диаметра валков при одном и том же обжатии также ведет к росту уширения. Это явление объясняется увеличением длины очага деформации l_d . При этом силы трения в очаге деформации повышаются, затрудняя течение металла в продольном направлении, т.е. препятствуют вытяжке металла. А так как при постоянном абсолютном обжатии смещенный по высоте объем металла остается постоянным, то с уменьшением вытяжки вследствие увеличения диаметра валков увеличивается уширение прокатываемой полосы.

На уширение полосы оказывает влияние ее ширина, пока она невелика. При достижении определенной достаточно большой ширины уширение прекращается. Такой характер изменения уширения объясняется сопротивлением перемещению металла в поперечном направлении.

Увеличение коэффициента трения на контактной поверхности приводит к увеличению сил трения, действующих как в продольном, так и в поперечном направлениях. Поэтому влияние коэффициента трения определяется соотношением

длины и ширины контактной поверхности. При прокатке узких полос с увеличением коэффициента трения уширение возрастает. Наоборот, при прокатке более широких полос ширина очага деформации больше, чем длина дуги захвата, увеличение коэффициента трения приводит к большему возрастанию сопротивления перемещению металла в поперечном направлении, чем в продольном. В этом случае увеличение коэффициента трения приводит к уменьшению уширения.

Наличие натяжения концов полосы способствует вытяжке металла и уменьшает его уширение. Приблизительно можно считать, что уширение уменьшается пропорционально величине приложенного натяжения. Заднее натяжение влияет на уширение гораздо сильнее, чем переднее натяжение. Во многих случаях влиянием переднего натяжения на уширение можно пренебречь.

При прокатке в калибрах уширение меньше, чем при прокатке в гладких валках, так как боковые стенки калибра препятствуют поперечному течению металла. При этом степень ограничения уширению металла зависит от формы калибра, а именно, от угла наклона боковых стенок калибра и от соотношения между шириной калибра и шириной задаваемой полосы.

Для определения уширения предложено много формул, выведенных с учетом различных теоретических допущений или на основании опытных данных. Наиболее простой является формула Жеза:

$$\Delta B = a(H - h),$$

где a — коэффициент, зависящий от геометрических параметров очага деформации, коэффициента трения, механических свойств прокатываемого металла и т.д.

Из рассмотрения формулы Жеза следует, что уширение пропорционально обжатию.

Следует отметить, что уширение, подсчитанное по формулам, не является абсолютно точным. Отклонение расчетной величины уширения от практической объясняется тем, что уширение металла при прокатке зависит от значительного количества факторов, рассмотренных выше и которые весьма трудно учесть при выводе формул уширения.

13. Неравномерность деформации при прокатке

Изменение исходных параметров полосы по ширине и длине и зазора между валками по длине их бочек приводит к неравномерности деформации при прокатке.

Неравномерность деформации определяется следующими факторами: формой рабочего инструмента (валки гладкие или калиброванные) и прокатываемой полосы, различием сопротивления деформации по сечению прокатываемой полосы и трением на контактной поверхности.

Различают неравномерность деформации по ширине, толщине и длине прокатываемой полосы.

Неравномерность распределения обжатий по ширине полосы может быть вызвана перекосами валков при прокатке на гладкой бочке, наравномерной выработкой валков, различной высотой калибра по его ширине.

В случае несимметричной неравномерности деформации обычно наблюдается искривление полосы. Примером несимметричной неравномерности деформации по ширине может служить прокатка полосы в перекошенных валках. В этом случае передний конец получает плавное искривление в горизонтальной плоскости (серповидность), загибаясь в сторону менее обжимаемой части полосы. Задний конец также поворачивается в сторону меньшего обжатия, приводя к смещению полосы вдоль бочки валка. Аналогичные явления наблюдаются при прокатке полосы клиновидного поперечного сечения при параллельном расположении валков.

Причинами неравномерности деформации по толщине полосы являются: различие сопротивления деформации отдельных слоев и влияние сил контактного трения. Это явление наблюдается при прокатке неравномерно нагретого металла.

Неравномерность деформации по толщине полосы приводит к появлению в металле дополнительных напряжений. В слоях полосы, получивших большие обжатия, возникают сжимающие напряжения, а в слоях, получивших обжатие меньше среднего, появляются растягивающие напряжения.

На равномерность распределения деформаций по высоте раската большое влияние оказывают силы трения, возникающие на поверхности контактного металла с валками. Контактные силы трения препятствуют течению металла как в продольном, так и в поперечном направлениях, причем это

влияние максимально в приконтактных слоях и затухает по мере удаления от контактной поверхности. Зоны, где течение металла затруднено, называют *зонами затрудненной деформации*.

Неравномерность деформации при прокатке возрастает также с увеличением высоты полосы. В металле возникают зоны затрудненной деформации. В результате этого боковые поверхности прокатываемой полосы принимают форму двойной бочки. С уменьшением высоты полосы зоны затрудненной деформации сближаются и боковая поверхность полосы в этом случае принимает вид одинарной бочки. Неравномерность деформации по высоте может привести к появлению разрывов внутри и на поверхности прокатываемой полосы.

При неравномерности деформации по длине прокатываемой полосы зазор между валками может измениться. Это приводит к неравномерному обжатию полосы по длине, вследствие чего полоса имеет по длине неодинаковую толщину. Основными причинами неравномерной деформации по длине полосы являются: неравномерный нагрев исходного металла; неоднородность химического состава слитков по высоте и переменная ширина листов по длине.

Неравномерность деформации полосы под влиянием этих факторов объясняется влиянием их на сопротивление деформации. Изменение сопротивления деформации по длине прокатываемой полосы вызывает изменение давления металла на валки, что приводит к изменению упругих деформаций рабочих клеток прокатного стана и, следовательно, зазора между валками.

14. Прокатка на непрерывных станах

При прокатке на непрерывных станах прокатываемая полоса одновременно находится в нескольких клетях (рис. 24). Осуществление такой прокатки возможно лишь с соблюдением условия равенства секундных объемов металла, проходящих через все клетки, которое можно записать уравнением

$$V_1 F_1 = V_2 F_2 = \dots = V_n F_n = \text{const}, \quad (39)$$

где V — скорость выхода полосы из валков; F — площадь поперечного сечения.

По мере уменьшения площади поперечного сечения полосы

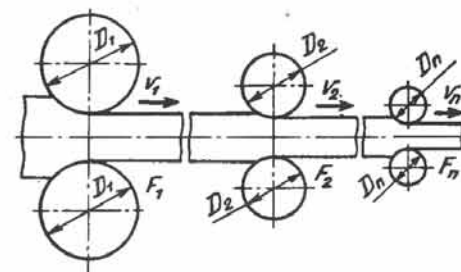


Рис. 24. Схема прокатки на непрерывном стане

в клетях стана скорость прокатки возрастает от первой клетки к последней. В случае несоблюдения этого условия процесс прокатки осуществляется с образованием петли между клетями или ведет к возникновению натяжения полосы, приводящего к искажению размеров поперечного сечения прокатываемой полосы и появлению дополнительных напряжений в деталях рабочей клетки.

Равенство секундных объемов в каждой клетке можно записать следующим образом:

$$F_1 D_1 n_1 = F_2 D_2 n_2 = \dots = F_n D_n n_n = \text{const}, \quad (40)$$

где D — диаметр валка; n — частота вращения валков.

Таким образом, если постоянство секундных объемов сохраняется, процесс прокатки на непрерывных станах осуществляется без натяжения и петлеобразования. Нарушения постоянства секундных объемов вызывает необходимость регулирования процесса прокатки либо изменением скорости вращения валков, либо подъемом или опусканием верхнего вала, что приводит к изменению площади поперечного сечения полосы, выходящей из клетки.

15. Трение при прокатке

При перемещении одного тела на поверхности другого возникает сопротивление. Это явление называется *внешним трением*.

Существует два вида трения: *скольжение* и *качение*. В процессе прокатки металла, осуществляемой при наличии трения между металлом и валком, имеет место трение скольжения.

Возникающие в результате между металлом и валками силы называются *силами трения* и оказывают большое влияние на

процесс прокатки. Захват полосы валками осуществляется за счет действия этих сил трения: если бы не было трения, то процесс прокатки вообще был бы невозможен.

Величиной, позволяющей оценить силовое взаимодействие двух контактирующих тел (в процессе прокатки металл и валок), имеющих относительное перемещение и находящихся под действием сжимающей нагрузки, является коэффициент трения f .

При прокатке условия трения в начальный момент при захвате полосы и при установившемся процессе не одинаковы. При захвате металла валками трение осуществляется между твердыми, недеформируемыми телами. Кроме того, при скольжении передних острых кромок полосы по валкам площадь касания поверхностей мала, что влияет на физические условия трения. В этом случае с кромок счищаются окалина и другие промежуточные среды (например, масло и др.) и в момент захвата валки контактируют с относительно чистой поверхностью металла. Все это приводит к увеличению значения коэффициента трения при захвате f_3 . После захвата металла площадь касания металла с валками увеличивается, в очаг деформации попадает масло или окалина (в случае прокатки при высоких температурах), которые играют роль смазки, и коэффициент трения при установившемся процессе f_y снижается. Таким образом, в большинстве случаев прокатки имеет место соотношение $f_3 > f_y$, что согласуется с экспериментальными данными (табл. 1).

Как видно из таблицы, различия между коэффициентами трения f_3 и f_y в наибольшей степени проявляются при наличии на трущихся поверхностях смазки или окислы. При про-

катке знание величины коэффициента трения для анализа процесса имеет важное значение. Среди факторов, влияющих на величину коэффициента трения, следует отметить материал валков, состояние поверхности валков, химический состав прокатываемого металла, температуру прокатки, технологические смазки и др.

Коэффициент трения во многих случаях зависит от сродства материала валков и металла и их механических свойств. При прокатке на стальных валках коэффициент трения выше, чем при прокатке на чугунных. Различие составляет в среднем 15–20 %. Это объясняется тем, что в структуре чугуна имеются фазовые составляющие (цемент, графит и др.), которые менее склонны к схватыванию с металлическими фазами (феррит, аустенит). Следует иметь также в виду, что с увеличением твердости рабочей поверхности валков коэффициент трения понижается.

Во многих случаях является определяющим фактор состояния поверхности валков. С улучшением качества поверхности валков коэффициент трения уменьшается и, наоборот, с ухудшением качества поверхности валков коэффициент трения увеличивается.

При рассмотрении влияния поверхности валков учитывают шероховатость их поверхности и наличие на них налипших частиц металла, окислы и пр. Практика показывает, что увеличение шероховатости поверхности валков, т.е. увеличение высоты неровностей на поверхности валков, приводит к увеличению коэффициента трения. Учитывая это обстоятельство, с целью увеличения углов захвата или избежания пробуксовки при прокатке широко применяют искусственное загромождение поверхности валков.

Также сильно влияет на коэффициент трения явление налипания. При горячей прокатке стали коэффициент трения повышается в 1,5 раза и более в результате накопления на поверхности валков частиц окислы и металла — продуктов износа. Попадая в зону трения, такие частицы усиливают механическое сцепление поверхностей, т.к. играют роль шипов.

Влияние химического состава металла на коэффициент трения связано при горячей прокатке с составом и свойствами образующейся окислы. Свойства окислы в значительной степени зависят от химического состава металла. При-

Таблица 1. Значения коэффициентов трения при захвате и установившемся процессе прокатки

Материал образца	Температура прокатки, °C	Промежуточная среда (смазка, окислы)	f_3	f_y	f_3/f_y
Сталь 08кп	Комнатная	Нет	0,143	0,086	1,66
		Керосин	0,151	0,053	2,86
		Эмульсия	0,129	0,055	2,34
Сталь Ст3	1150–1200	С печной окислы	0,44	0,18–0,29	1,5–2,4
		Без печной окислы	0,44	0,30–0,35	1,2–1,4

меси и элементы в металле, которые понижают температуру плавления окалины, делают ее мягче и уменьшают коэффициент трения. При прокатке углеродистых сталей установлено, что коэффициент трения несколько уменьшается с увеличением содержания углерода в металле. Те же металлы, которые имеют склонность к налипанию, имеют повышенные значения коэффициента трения. Так, при горячей прокатке нержавеющей стали коэффициент трения в 1,3–1,5 раза выше, чем для углеродистой стали.

Влияние температуры прокатки на коэффициент трения сказывается не прямо, а косвенно, в основном за счет изменения состава и свойств окалины. При прокатке различных сталей и некоторых других металлов, например меди, с повышением температуры металла коэффициент трения сначала возрастает (до температуры 700–1000 °C), а затем уменьшается. Такой характер изменения f объясняется ростом слоя окислов с повышением температуры и падением их прочности. В результате они начинают играть роль смазки, способствуя снижению сил трения.

Технологические смазки предназначены для снижения сил трения на контактных поверхностях в очаге деформации и уменьшения износа валков.

В качестве смазки применяются в основном минеральные и растительные масла в чистом виде или в виде водо-масляных смесей (эмульсий). Технологические смазки применяются как при горячей, так и при холодной прокатке. При горячей прокатке наряду с уменьшением коэффициента трения применение смазки позволяет уменьшить износ валков, снизить их разгар и предотвратить налипание металла на валки. При

Таблица 2. Величины коэффициента трения для некоторых металлов без смазки и со смазкой

Металл	Без смазки	Смазка	
		керосин	машинное масло
Сталь 10кп	0,16–0,24	0,12–0,14	0,08–0,10
Медь	0,16–0,20	0,10–0,12	0,08–0,10
Алюминий	0,16–0,24	0,08–0,12	0,06–0,07
Латунь	0,10–0,12	0,05	0,04
Цинк	0,20–0,24	0,10–0,12	—

холодной прокатке применение смазки является важнейшим фактором технологического процесса.

В табл. 2 показано влияние смазки на коэффициент трения различных металлов.

16. Усилие и момент прокатки

Под *усилием прокатки* P понимается равнодействующая сил нормального давления и трения, действующих на металл со стороны валков. При установившемся процессе прокатки усилие прокатки направлено перпендикулярно от полосы (рис. 25).

Усилие прокатки можно определить аналитическим путем

$$P = P_{ср} F_k, \quad (41)$$

где $P_{ср}$ — среднее контактное давление.

Площадь контактной поверхности F_k равна произведению средней ширины $B_{ср}$ полосы в очаге деформации на длину контактной поверхности

$$F_k = B_{ср} l_d = \frac{B+b}{2} \sqrt{R \Delta h}. \quad (42)$$

Из формулы видно, контактная площадь увеличивается при увеличении ширины полосы, обжатия и радиуса валков.

Формула для определения среднего контактного давления в общем случае имеет вид:

$$P_{ср} = \beta n_{\sigma} \cdot n_s, \quad (43)$$

где β — коэффициент, учитывает влияние ширины полосы и изменяется в пределах от 1 до 1,15; n_{σ} — коэффициент, учитывающий влияние объемного напряженного состояния; n_s — сопротивление деформации в условиях линейного напряженного состояния (простое растяжение), с учетом влияния для данного материала температуры, скорости деформации и наклепа.

Коэффициент β учитывает влияние уширения прокатываемого металла и определяется графически. При наличии благоприятных условий уширения $\beta = 1,0$.

Вычисление коэффициента n_s с достаточной точностью также можно определить графически, а также по имеющимся в

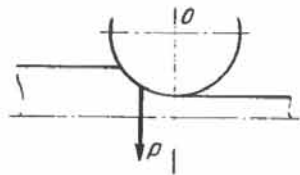


Рис.25. Усилие прокатки в установившемся процессе

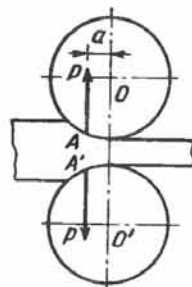


Рис.26. К определению момента прокатки

литературе формулам или же по экспериментальным кривым зависимости и температуры металла.

На величину среднего контактного давления при прокатке влияют целый ряд факторов: механические свойства металла, толщина полосы, диаметр валков, температура металла, скорость прокатки и другие факторы.

Изменение среднего контактного давления при прокатке является результатом влияния механических свойств металла и интенсивности действия продольных подпирющих напряжений, с увеличением которых повышается среднее контактное давление.

Увеличение коэффициента внешнего трения также приводит к увеличению продольного напряжения и, следовательно, контактных давлений. Особенно большое влияние внешнее трение оказывает при прокатке тонких полос в горячем и холодном состоянии. Так, увеличение коэффициента трения с 0,05 до 0,15 может приводить к повышению удельного давления на 30—40 %.

Толщина полосы оказывает значительное влияние на контактное давление. Чем тоньше полоса, тем сильнее влияние внешнего трения на продольное напряжение и, следовательно, на контактное давление. С увеличением толщины полосы продольное напряжение уменьшается и при прокатке высоких полос оказывается настолько малым, что практически не влияет на контактное давление.

Увеличение диаметра валков при одинаковом обжатии способствует удлинению дуги захвата. Поэтому с увеличением диаметра валков увеличиваются силы трения, препятствующие продольному течению металла, повышая тем самым под-

пирающее напряжение и, следовательно, среднее контактное давление.

Таким образом, с точки зрения нагрузок на детали прокатного стана выгоднее деформировать металл в валках с меньшим диаметром.

Температура металла и скорость прокатки влияют на контактное давление через сопротивление деформации и коэффициент трения. С увеличением скорости прокатки возрастают скорость и сопротивление деформации и, следовательно, контактное давление.

Вращающий момент на валу двигателя, необходимый для привода валков стана, может быть представлен в виде суммы

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{хх}} \pm M_{\text{н}} \pm M_{\text{д}}, \quad (44)$$

где $M_{\text{пр}}$ — момент прокатки, необходимый для деформации металла; $M_{\text{тр}}$ — момент добавочных сил трения, возникающих от действия давления металла на валки в подшипниках валков и в других частях стана (без учета момента, требуемого на вращение валков при холостом ходе); $M_{\text{хх}}$ — момент холостого хода, требующийся для привода стана при холостом ходе; $M_{\text{н}}$ — момент от действия приложенного к полосе напряжения; $M_{\text{д}}$ — динамический момент, необходимый для преодоления инерционных усилий во время разгона и остановки вращения валков.

Сумма $M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{хх}} \pm M_{\text{н}}$ называется статическим моментом. Эти составляющие (за исключением $M_{\text{н}}$) неизбежны для любого процесса прокатки. Основной составляющей статического момента является момент прокатки.

Для простого случая прокатки, когда оба валка приводные и имеют одинаковый диаметр, момент прокатки можно определить как произведение усилия прокатки P на плечо a (рис. 26):

$$M_{\text{пр}} = 2Pa. \quad (45)$$

Множитель 2 означает, что моменты возникают на двух валках, соприкасающихся с полосой. Величину плеча a обычно представляют как часть дуги захвата:

$$a = \psi l = \psi \sqrt{R \Delta h},$$

где ψ — коэффициент, показывающий, какую часть от дуги

захвата составляет плечо приложения полного давления. Подставив значение a в уравнение (45), получим

$$M_{пр} = 2P\psi\sqrt{R\Delta h}. \quad (46)$$

Трудность определения момента прокатки заключается в выборе коэффициента ψ , значение которого зависит от характера распределения контактного давления по дуге захвата. Для расчетов обычно рекомендуют значения коэффициента ψ при прокатке: горячей 0,5; холодной 0,35–0,45.

17. Работа и расход энергии при прокатке

Знания работы и расхода энергии при прокатке дают возможность определить мощность двигателя вновь устанавливаемого прокатного стана или проверить достаточность мощности установленного двигателя при внедрении нового режима обжатий, нового технологического процесса.

Работа прокатки складывается из работы, затраченной на деформацию прокатываемого металла, работы, идущей на преодоление трения металла о поверхность валков, дополнительной работы, идущей на преодоление сил трения в движущихся частях стана в процессе прокатки и в период холостого хода и др.

Величину работы, затрачиваемой на прокатку, можно определить теоретически или исходя из экспериментальных данных удельного расхода энергии при прокатке.

При прокатке прямоугольной полосы в валках с гладкой бочкой работа может быть рассчитана по формуле

$$A = p_{ср} V \epsilon, \quad (47)$$

где $p_{ср}$ — среднее контактное давление; V — объем прокатываемого металла; ϵ — относительное обжатие.

Величину ϵ можно определить по формулам

$$\epsilon = \frac{H-h}{H}; \quad \epsilon = \frac{H-h}{H}; \quad \epsilon = \ln \frac{H}{h}.$$

Отсюда, работа, затрачиваемая двигателем, таким образом, равна

$$A_{дв} = [p_{ср} V \ln \frac{H}{h}] \eta, \quad (48)$$

где η — коэффициент полезного действия стана, учитывающий потери энергии на преодоление сил трения в движущихся частях стана.

Точность получаемых таким образом данных часто недостаточна. Поэтому для определения работы при прокатке получил широкое распространение способ, основанный на опытных данных по расходу энергии при прокатке, которые обычно представляют в виде кривых. Кривые выражают расход энергии на 1 т проката в зависимости от общей вытяжки. Как видно на рис. 27, расход энергии за один проход на

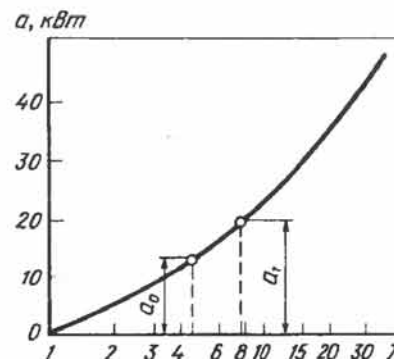


Рис. 27. Изменение расхода энергии при прокатке блюмов и зависимости от общей вытяжки

1 т составляет разность двух величин $a_1 - a_0$ кВт·ч/т. Общий же расход энергии за данный проход представляется в виде:

$$A_3 = (a_1 - a_0) G, \quad (49)$$

где a_0 и a_1 — удельный расход энергии до и после рассматриваемого прохода; G — масса прокатываемого металла, т.

При подсчете расхода энергии при прокатке по таким кривым следует для каждого случая подбирать такую кривую, которая наиболее соответствует рассматриваемым условиям прокатки: прокатываемому материалу, размеру и форме профиля, типу прокатного стана и т.д.

Зная расход энергии при прокатке, потребляемая мощность (кВт) может быть выражена следующим уравнением:

$$M = 3600(a_1 - a_0)G/\tau, \quad (50)$$

где τ — время прохода металла между валками, с.

1. Назовите типы кристаллических решеток металлов.
2. Какими характеристиками кристаллических решеток определяются свойства кристаллов?
3. Понятие напряжений и деформаций. Какие бывают напряжения и деформации?
4. В чем заключается связь между напряжением и деформациями в упругой и пластической областях?
5. В чем заключается механизм пластической деформации металла?
6. Что такое наклеп и рекристаллизация?
Стадии процесса устранения процесса наклепа.
7. Что такое пластичность металлов? Какие факторы влияют на пластичность?
8. Что такое сопротивление металлов пластической деформации? Какие факторы влияют на сопротивление пластической деформации?
9. Назовите методы оценки пластичности металлов.
10. Какие существуют схемы напряженного и деформированного состояния?
11. В чем заключается условие постоянства объема?
12. Какова схема перемещения металла при прокатке?
13. Что такое очаг деформации и каковы его основные параметры?
14. Какие характеристики деформации используются при прокатке?
15. Какие факторы влияют на захват металла валками?
16. Что такое опережение и отстаивание металла при прокатке?
17. Что такое вытяжка металла при прокатке?
18. Какие факторы влияют на величину уширения при прокатке?
19. Перечислите виды неравномерности деформации металла при прокатке.
20. В чем заключается условие прокатки на непрерывных станах?
21. Какую роль играет трение при прокатке? Назовите факторы, влияющие на коэффициент трения.
22. Дайте определение усилия и момента прокатки.
23. Какие факторы влияют на усилие прокатки?

Глава 2. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Производство проката является заключительным технологическим процессом производства металлопродукции в общем процессе ее производства на металлургическом предприятии. Прокатные цехи и станы представляют собой комплекс взаимосвязанных технологических переделов металла. В этой связи к прокатным цехам и станам предъявляются высокие требования с точки зрения технического и технологического их уровня, а также к возможности и необходимости производства проката по количеству и качеству, в том числе и его сортаменту, в целях удовлетворения потребностей промышленности страны. Прокатными станами производится металлопродукция различного назначения. Разнообразие прокатной продукции определяет назначение и специализацию прокатных станов и обуславливается необходимостью промышленного производства страны в том или ином виде прокатной продукции.

Развитие прокатного производства (прокатных цехов и станов), его эффективность базируются на использовании нового, более совершенного нагревательного, прокатного и отделочного оборудования, характеризующегося поточностью ряда технических процессов и операций, более высокими скоростями и интенсивными режимами работы, все возрастающими массами исходного продукта, повышением качества исходного слитка и непрерывной заготовки.

1. Производство проката в структуре металлургического предприятия

Современное металлургическое предприятие с полным металлургическим циклом включает в себя три основных производства: доменное, сталеплавильное и прокатное. Основными цехами на таких предприятиях являются доменные, сталеплавильные и прокатные. В состав предприятий входят также вспомогательные цехи, задачей которых является обеспечение бесперебойной работы основных цехов. К ним относятся энергетические, транспортные, ремонтные, огнеупорные и другие цехи.

Движение потока металла на металлургическом предприя-

тии осуществляется в направлении от доменного производства к прокатному (рис. 28). В процессе металлургического производства в доменных цехах производят передельный (а также в небольшом количестве — литейный) чугун. Передельный чугун в жидком виде идет на переработку в сталеплавильных цехах в сталь в конвертерах, мартеновских или электрических печах.

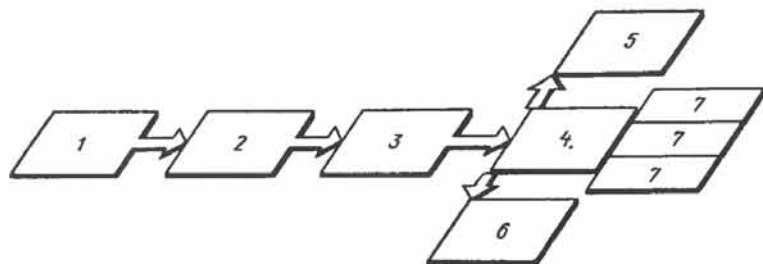


Рис. 28. Схема расположения основных цехов металлургического предприятия: 1 — доменные цехи; 2 — сталеплавильные цехи; 3 — стрипперное отделение, МНЛЗ; 4 — обжимные цехи; 5 — листопрокатные цехи; 6 — крупносортовые цехи; 7 — сортопрокатные цехи

Получаемую сталь разливают в слитки или на машинах непрерывного литья заготовок в непрерывнолитые заготовки, которые являются исходной продукцией при производстве проката.

Таким образом, производство проката является *заключительным этапом* в производстве металлопродукции на металлургическом предприятии.

Процесс прокатки является одним из наиболее распространенных и производительных видов обработки металлов давлением.

Существуют три основных способа прокатки, которые отличаются по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (или косая).

Продольная прокатка является наиболее распространенным способом. В настоящее время почти 90 % всего проката производится продольной прокаткой, в том числе весь листовой и сортовой прокат. На металлургических предприятиях обычно прокатное производство включает несколько самостоятельных цехов, выпускающих различную по назначению и сортаменту прокатную продукцию. В зависимости от сортамента выпускаемой продукции предприятия бывают только листовой

или сортовой специализации. Но чаще — смешанной специализации, т.е. производящие как листовой, так и сортовой прокат.

Производство готового проката осуществляется в *две стадии*: на первой — *получением заготовки* (полупродукта) на обжимных и заготовочных станах и на второй — *прокаткой заготовки в готовый прокат* на листопрокатных и сортопрокатных станах. Как правило, обжимные и заготовочные станы устанавливаются в головных прокатных цехах металлургического предприятия, за которыми или параллельно им располагаются цехи с листопрокатными и сортопрокатными станами. Основными задачами производства готового проката является получение проката необходимого количества и требуемого качества по форме, размерам, физико-механическим свойствам, состоянию поверхности и с наименьшими затратами.

Кроме того, производство проката осуществляется также и на металлургических предприятиях с неполным металлургическим циклом, на которых отсутствует доменное производство. Существуют также металлургические предприятия, в состав которых входят только прокатные цехи. Такие предприятия называются *передельными*.

2. Классификация и типы прокатных станов

Все прокатные станы, работающие на металлургических предприятиях, несмотря на многообразие конструкций классифицируются по назначению, количеству и расположению рабочих клеток и валков в рабочих клетях. Прокатные станы в зависимости от назначения, т.е. от вида выпускаемой продукции, можно разделить на следующие три группы.

Станы горячей прокатки, к которым относятся обжимные, заготовочные, рельсобалочные, сортовые, проволочные, штрипсовые, листовые, широкополосные.

Станы холодной прокатки, к которым относятся листовые, жестепрокатные и станы для прокатки тонкой и тончайшей ленты.

Станы специального назначения — колесопрокатные, бандажепрокатные, для прокатки полос и профилей переменного сечения, шаров, шестерен, винтов, гнутых профилей и т.п.

Основным параметром обжимных, заготовочных и сортовых

станов является диаметр валков или шестерен шестеренной клетки в мм. При наличии в стане нескольких рабочих клеток параметром стана является диаметр валков чистовой клетки. Так, название "мелкосортный стан 250" означает, что диаметр рабочих валков или шестерен чистовой клетки равен 250 мм, а назначение его — производство мелкосортного проката.

Основным параметром листовых станов является длина бочки валка, мм, которая определяет наибольшую ширину прокатываемых на стане листов или полос. В этом случае название "толстолистовой стан 3000" означает, что длина бочки валков равна 3000 мм, при этом на стане прокатывают толстый лист шириной до 2700—2800 мм.

По количеству и расположению рабочих клеток прокатные станы разделяют на следующие пять групп: одноклетевые, линейные многоклетевые, последовательные, полунепрерывные и непрерывные (рис. 29).

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

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

Последовательные станы характеризуются расположением рабочих клеток, стоящих друг за другом таким образом, что прокатываемая полоса проходит в каждой клетке один раз. Поэтому число клеток такого стана должно быть равно максимальному числу проходов, необходимых для получения го-

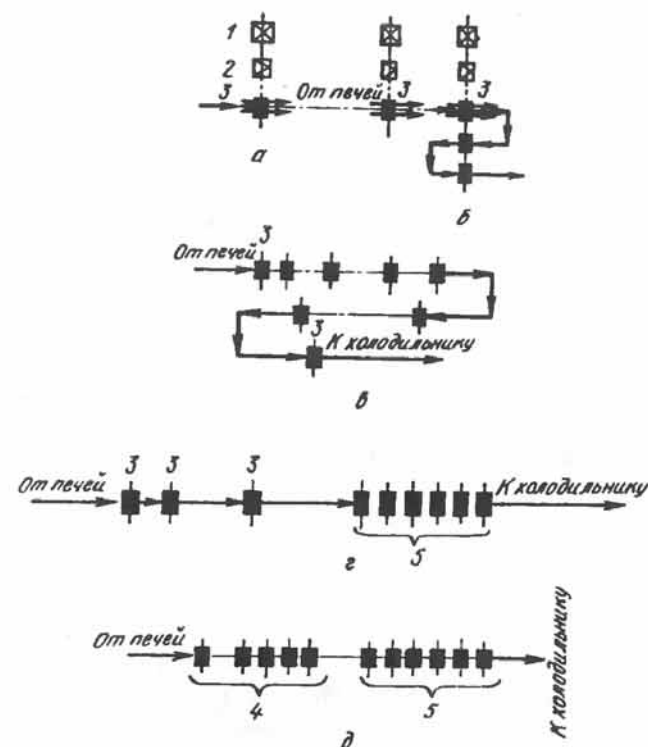


Рис. 29. Схема расположения рабочих клеток прокатных станов: а — одноклетевый; б — линейный многоклетевый в две линии; в — последовательный; г — полунепрерывный; д — непрерывный: 1 — двигатель; 2 — шестеренная клетка; 3 — рабочие клетки; 4 — непрерывная черновая группа; 5 — непрерывная чистовая группа

тового профиля. На последовательных станах рабочие клетки обычно размещают в несколько параллельных рядов, с тем чтобы сократить длину цеха и лучше использовать его площади. Причем на таких станах расстояние от клетки к клетке в направлении прокатки увеличивается соответственно увеличению длины прокатываемой полосы. Увеличивается и частота вращения валков.

К последовательным станам относятся станы с рабочими клетками, расположенными в шахматном порядке.

Последовательные станы используют в основном как сортовые.

Полунепрерывные станы состоят из двух групп рабочих клеток: непрерывной и линейной, или последовательной. В непрерывной группе клеток прокатываемая полоса может на-

ходиться одновременно в двух, трех и более клетях, т.е. прокатываться непрерывно. А во второй группе полоса прокатывается или на линейном, или на последовательном стане.

Полунепрерывные станы используются как сортовые, проволочные и полосовые.

Наиболее современными станами являются *непрерывные станы*. По сравнению с другими типами станов непрерывные характеризуются более высокими скоростями прокатки. При этом привод валков рабочих клетей может быть как индивидуальный, так и групповой.

Непрерывные станы характеризуются наибольшей производительностью по сравнению с другими типами станов. Эти станы используют в качестве заготовочных, широкополосных, средне- и мелкосортных, проволочных и др.

По расположению и количеству валков в рабочих клетях и их конструкции прокатные станы делятся на несколько групп: двух-, трех-, четырех- и многовалковые, универсальные специальной конструкции (рис.30).

Двухвалковые клетки наиболее распространены, и бывают *реверсивные* и *нереверсивные*. В реверсивных клетях валки имеют переменное направление вращения. Прокатываемый ме-

талл проходит между валками вперед и назад нужное количество раз, а валки соответственно изменяют направление вращения, реверсируются. Реверсивные двухвалковые клетки применяют в обжимных, толстолистовых, сортовых и листовых станах.

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

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

При производстве листа также применяют трехвалковые клетки, но со средним валком меньшего диаметра, чем нижний и верхний. Средний валок является неприводным и в процессе прокатки прижимается то к верхнему, то к нижнему валку.

Так же как и при производстве сортового проката, перед клетью и позади нее устанавливают подъемно-качающиеся столы. Поскольку трехвалковые клетки обладают небольшой производительностью и малой жесткостью валковой системы, в последнее время их применяют все реже.

В *четырёхвалковых* клетях, как и в трехвалковых, валки также расположены в одной вертикальной плоскости один над другим. В этих клетях два валка 1 являются рабочими, а два других 2 — опорными. Рабочие валки имеют меньший диаметр и размещены в середине клетки, опорные валки имеют больший диаметр и расположены сверху и снизу. Опорные валки предназначены для уменьшения прогиба рабочих валков и для увеличения жесткости валковой системы. Приводными валками в клетях кварто являются рабочие валки. Станы с четырехвалковыми клетями получили широкое распространение

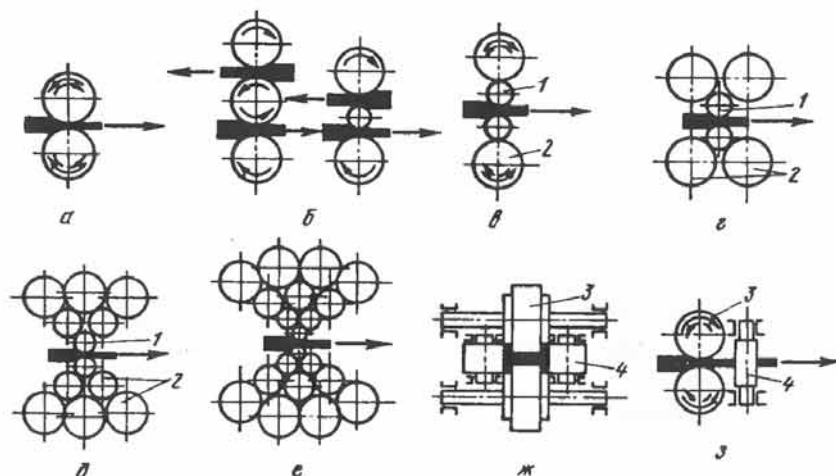


Рис.30. Схема расположения валков в рабочих клетях:

а — двухвалковая клеть; б — трехвалковая сортовая и листовая; в — четырехвалковая клеть; г — шестивалковая клеть; д — двенадцативалковая клеть; е — двадцативалковая клеть; ж — универсальная балочная клеть; з — универсальная клеть слябинга

для горячей и холодной прокатки толстых и тонких листов, широких полос и лент.

С использованием четырехвалковых клетей прокатка осуществляется на непрерывных многоклетевых и одноклетевых станах. Четырехвалковые нереверсивные клетки используют на непрерывных станах. Реверсивные четырехвалковые клетки используют в одноклетевых станах горячей и холодной прокатки.

К многовалковым клетям относятся шести-, двенадцати- и двадцативалковые клетки.

Шестивалковые клетки имеют два рабочих приводных вала 1 и четыре опорных 2. Эти клетки отличаются повышенной жесткостью самой клетки и меньшим прогибом опорных валков. Благодаря этому клетки используют для холодной прокатки тонких полос и узких лент в рулонах с точными допусками по толщине. Однако поскольку преимущества этих клетей по сравнению с четырехвалковыми клетями невелики, а конструкция их сложнее, то значительного распространения они не получили.

Широко применяются в прокатном производстве *двенадцати- и двадцативалковые* клетки. Такое усложнение конструкций рабочих клетей оправдывается рядом преимуществ, которые выражаются в жесткой конструкции валковой системы и всей рабочей клетки. Это позволяет применять их для производства тонкой и тончайшей ленты. Диаметры рабочих валков 1 в таких многовалковых клетях значительны и лежат в пределах от 3 до 50 мм. Они являются неприводными и опираются на ряд приводных валков 2 с большим диаметром, а последние, в свою очередь, на ряд опорных валков.

Универсальные клетки имеют горизонтальные 3 и вертикальные 4 валки, расположенные в одной вертикальной плоскости. Обжатие металла осуществляется горизонтальными и вертикальными валками одновременно.

Такие клетки применяются в универсальных балочных клетях, где вертикальные валки неприводные. Эти клетки применяют только для прокатки широполочных двутавровых балок (высота балок до 1000 мм, ширина полок до 400 мм). Но последнее время их начинают использовать и для прокатки других профилей (рельсов, универсальных листов и др.). Кроме того, универсальные (обычные) клетки применяют как реверсивные двухвалковые (в слябингах) или четырехвалко-

вые (в черновых широкополосных станах) клетки. В этих клетях вертикальные плоскости, в которых размещены или горизонтальные, или вертикальные валки, находятся на некотором близком расстоянии друг от друга. В этих клетях обжатие прокатываемого металла осуществляется и горизонтальными и вертикальными валками. При этом вертикальные валки располагают с передней или задней стороны рабочей клетки, в задачу которых входит получение ровных и гладких боковых граней прокатываемого металла.

Клетки специальной конструкции имеют самое различное расположение валков. К этой группе относятся колесопркатные, бандажепркатные, кольцепркатные, шаропркатные станы, а также станы для прокатки профилей переменного и периодического сечения, шестерен и других изделий.

3. Сортамент прокатной продукции

Продукция прокатных цехов различается по форме поперечного сечения и по размерам. Совокупность прокатываемых профилей называется *сортаментом*. Весь сортамент проката делится на четыре основные группы: сортовой прокат, листовый прокат, трубы и прочие виды проката.

Наиболее *разнообразным* является *сортовой прокат*. В зависимости от формы поперечного сечения он разделяется на простые и фасонные горячекатаные профили и профили специального назначения (рис. 31).

К *простым профилям* относятся профили простой геометрической формы: круглый, квадратный, шестигранный, восьмигранный, полосовой, полосовой с закругленными кромками и другие. Значительную долю в общем выпуске сортовой стали составляет круглая сталь, которую прокатывают диаметром от 5 до 250 мм на заготовочных, сортовых и рельсобалочных станах. Квадратную сталь прокатывают со стороны квадрата от 5 до 250 мм на тех же прокатных станах, что и круглую.

Не меньшее распространение получила полосовая сталь, которую прокатывают шириной от 10 до 200 мм и толщиной от 4 до 60 мм. К полосовой стали следует также отнести и ленту шириной от 20 до 500 мм и толщиной 1,5–3,5 мм. Полосовые профили прокатывают на специальных непрерывных станах.

К *фасонным профилям* общего назначения относят: угловой

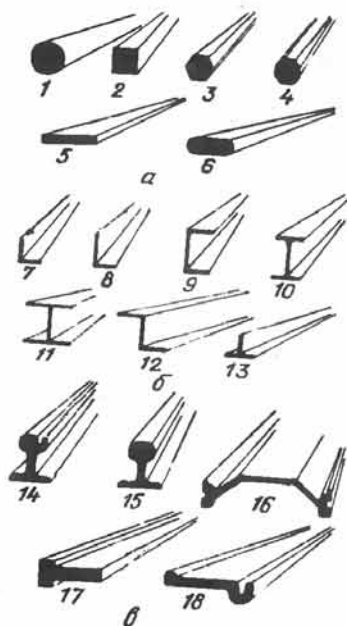


Рис.31. Сортамент прокатных профилей: а — простые; б — фасонные; в — специального назначения; 1 — круг; 2 — квадрат; 3 — шести-гранник; 4 — восьмигранник; 5 — по-лоса; 6 — полоса с закругленными кромками; 7 — уголок равнобокий; 8 — уголок неравнобокий; 9 — швел-лер; 10 — двутавровая балка; 11 — широкополочная балка; 12 — зетовый профиль; 13 — тавровый профиль; 14 — рельс трамвайный; 15 — рельс железнодорожный; 16 — шпунтовый профиль; 17 — профиль для электро-вздо- и вагоностроения; 18 — про-филь для обода колеса автомобиля

равнобокий и неравнобокий; швеллер; двутавровый и широко-полочный балочные; зетовый и другие.

Равнобокие и неравнобокие угловые профили прокатывают с шириной полок от 20×20 до 250×250 и от 25×16 до 250×160 соответственно. Каждый размер углового профиля может иметь несколько размеров толщины полок, число которых в отдельных случаях достигает семи. Угловые профили прока-тывают на сортовых и рельсобалочных станах.

Широко распространенными профилями также являются швеллер и балки, которые широко применяются в машиностро-ении и строительстве. К важным характеристикам профилей относятся: ширина, высота; площадь поперечного сечения; масса 1 м длины; толщина стенки и др. В настоящее время балки производятся высотой от 100 до 1000 мм. В последнее время расширяется производство балок с параллельными пол-ками и высотой до 1100–1200 мм. С шириной полок до 400–490 мм. Такие балки позволяют экономить до 10 % ме-талла. Швеллеры и балки прокатывают на сортовых, рельсо-балочных и универсальных балочных станах.

К профилям *специального назначения* относятся профили, форма и размеры которых определяются функциональным на-значением и особенностями конструкций, где они используют-

ся. К таким профилям относятся: тавровый, трамвайные и железнодорожные рельсы; шпунтовый; для стойки и фермы по-лувагона; для обода колеса автомобиля и многие другие. Одними из важных профилей являются рельсовые профили, к которым предъявляются высокие требования к их качеству и процесс производства которых весьма сложен. Размеры рель-сов характеризуются массой 1 м длины. Рельсы прокатывают на рельсобалочных прокатных станах.

Листовой прокат разделяют на две основные группы в за-висимости от толщины: толстолистовой (более 4 мм) и тон-колистовой (менее 4 мм). Горячекатаный прокат производят в листах толщиной от 0,5 до 160 мм и рулонах толщиной 1,2–16 мм. Ширина листового проката может быть в пределах от 600 до 3800 мм, а длины 1,2–12 м. Современными станами горячей прокатки для производства тонкого листа являются непрерывные станы, на которых прокатывают лист толщиной 1,0–16,0 мм.

Холоднокатаный листовой прокат производят толщиной 0,35–5 мм и шириной от 500 до 2300 мм в листах и рулонах. Основными станами для холодной прокатки являются также непрерывные станы.

Интенсивное развитие большинства отраслей промышлен-ности и создание новых, которые являются потребителями прокатной продукции, повышают требования к качеству ме-талла, вызывают необходимость расширения сортамента и увеличение производства дефицитных видов проката. Вместе с тем растет потребность в расширении производства эконо-мичных профилей, т.е. таких, на производство которых рас-ходуется меньше металла. К таким видам проката можно от-нести тонкостенные и широкополочные балки, тонкостенные угловые профили, швеллеры, гнутые профили и др. Для нужд машиностроения имеет большое значение выпуск периодичес-ких профилей, использование которых обеспечивает заметную экономию металла (до 20–30 %), повышает производитель-ность при штамповке деталей, снижает трудоемкость изго-товления поковок и др.

С целью повышения производительности труда, снижения себестоимости прокатной продукции и повышения качества проката в прокатном производстве постоянно проводится ра-бота по специализации прокатных станов. Специализация вы-ражается в ограничении сортамента выпускаемой продукции,

в приспособлении оборудования и технологии в соответствии с профилем специализации. Этот процесс особенно важен для прокатного производства, где сортамент прокатной продукции широк и многообразен.

Специализация прокатных станов определяет наименование профилей и размеры готового проката, который может производиться на каждом стане с указанием ГОСТов (Государственных стандартов) и технических условий.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются заводы с полным металлургическим циклом от переделных?
2. Какой специализации бывают металлургические предприятия?
3. По каким признакам классифицируют прокатные станы?
4. Какое расположение клетей в прокатных станах является наиболее совершенным?
5. Какой вид проката производится с применением универсальных клетей?
6. Что такое сортамент прокатной продукции?
7. Перечислите профили проката, относящиеся к простым, фасонным профилям и профилям специального назначения.

Глава 3. Технология производства проката

Технология — это знания о способах и средствах проведения производственных процессов. Технология производства проката представляет собой знания о совокупности последовательных операций, необходимых для осуществления производства прокатной продукции. Технологические операции в производстве проката весьма разнообразны. Однако существуют такие, которые являются основными и характерны для всех видов прокатного производства. К ним следует отнести следующие: подготовку металла к прокатке; нагрев металла перед прокаткой; собственно прокатку; охлаждение проката; отделку готовой прокатной продукции.

Эти технологические операции характерны для горячей прокатки, однако часть их являются необходимыми и для холодной прокатки.

Каждая из этих операций является самостоятельной, но

необходимой и взаимосвязанной с другими технологическими операциями производства проката. Совокупность технологических операций изготовления прокатной продукции, их необходимая последовательность представляют собой технологическую схему производства проката.

1. Технологические схемы производства проката

Основной задачей технологического процесса производства проката является *получение прокатной продукции заданных форм, размеров и качества в необходимом количестве с минимальными затратами и наибольшей производительностью*. Эта задача может быть решена только при точном соблюдении и выполнении всего технологического процесса производства проката и требований нормативно-технической документации.

Технологический процесс производства того или иного вида готового проката включает в себя все необходимые последовательные операции обработки металла. Способ производства исходного металла и последовательность технологических операций определяют технологическую схему производства проката.

На металлургических предприятиях с полным металлургическим циклом технологической схемой производства проката является схема слитков — полупродукт (заготовка) — готовый прокат (рис.32). В соответствии с этой схемой прокатное производство металлургического предприятия включает систему станов, обеспечивающих получение полупродукта в виде блюмов, слябов и заготовок из слитков массой от 7–10 т и более, и систему станов, выпускающих готовый прокат в виде сортового проката или горяче- и холоднокатаных листов и др., т.е. технологический процесс современного прокатного производства состоит из двух стадий: получение полупродукта (заготовки) и готовой продукции (готового проката).

В то же время технологическая схема производства того или иного вида готового проката предусматривает включение всех необходимых последовательных операций обработки, начиная с подготовки слитка или заготовки для нагрева и прокатки и кончая завершающей отделкой и определением качества готового проката (рис. 33).

Следует отметить, прокатные цехи, имеющие в своем составе обжимные (блужинги, блужинги-слябинги, слябинги) и

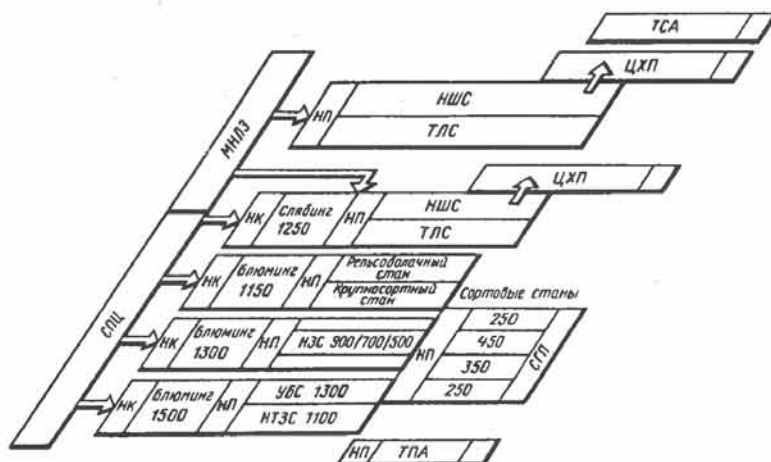


Рис.32. Технологическая схема производства проката слиток — полупродукт (заготовка) — готовый прокат:

МНЛЗ — машина непрерывного литья заготовок; СПЦ — сталеплавильный цех; НП — нагревательные печи; НК — нагревательные колодцы; НШС — непрерывный широкополосный стан; ТЛС — толстолистовой стан; ЦХП — цех холодной прокатки листов; ТСА — трубосварочный агрегат; НЗС — непрерывный заготовочный стан; УБС — универсальный балочный стан; НТЗС — непрерывный трубозаготовочный стан; ТПА — трубопрокатный агрегат; СГП — склад готовой продукции

заготовочные станы, являются связующим звеном между сталеплавильными цехами и станами, выпускающими готовый прокат.

Для металлургических предприятий с неполным металлургическим циклом технологической схемой производства проката является либо *слиток — готовый прокат*, либо *полупродукт — готовый прокат*. В этих схемах отсутствуют операции, связанные с производством полупродукта непосредственно на данном предприятии, а процесс производства осуществляется или из заготовки, получаемой со стороны, или из слитка небольшой массы, из которого готовый прокат получают за один нагрев. Эти технологические схемы являются наиболее распространенными на металлургических предприятиях.

Успешное развитие непрерывной разливки стали на металлургических предприятиях значительно изменило технологическую схему производства проката и преобразовало ее в схему *непрерывнолитая заготовка — готовый прокат* (рис.33,б). Использование непрерывнолитой заготовки в прокатных цехах при производстве готового проката являет-

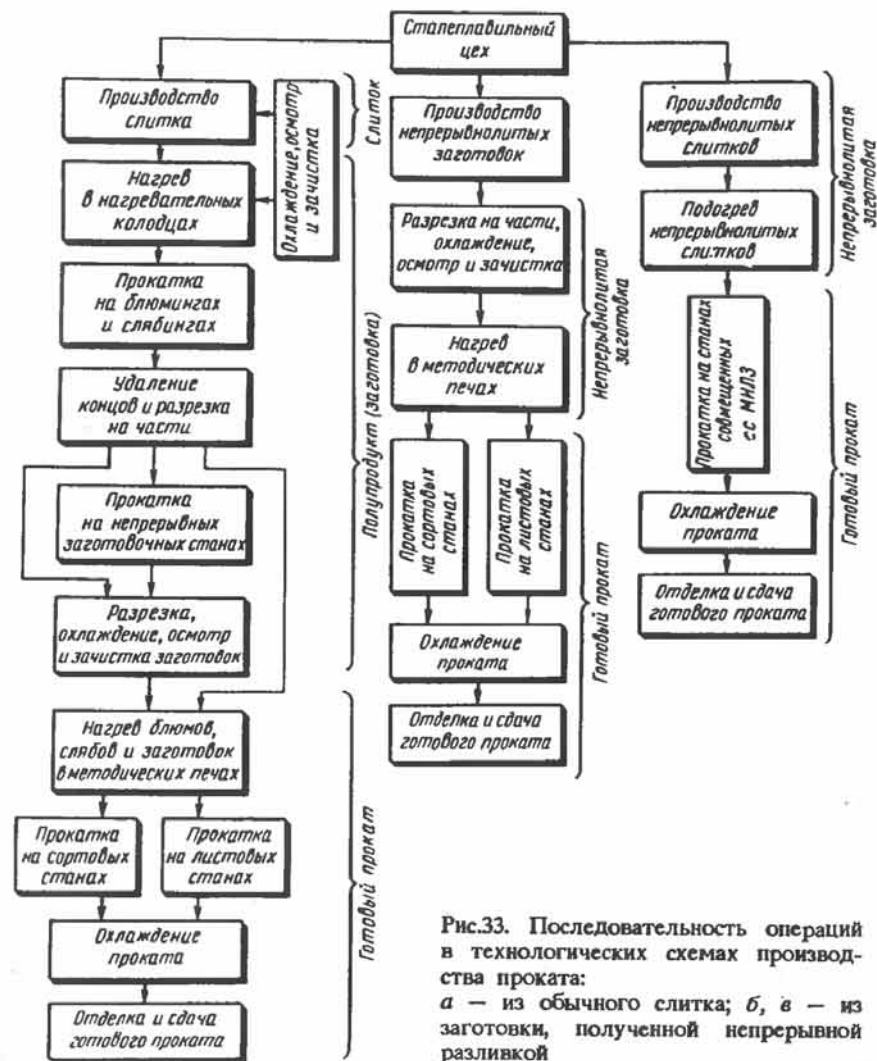


Рис.33. Последовательность операций в технологических схемах производства проката;

a — из обычного слитка; *b*, *в* — из заготовки, полученной непрерывной разливкой

ся эффективным процессом, позволяющим исключать целый ряд технологических операций и дорогостоящие обжимные и заготовочные станы из технологического процесса производства проката.

Дальнейшее развитие процессов непрерывной разливки и прокатки, выражающееся в их совмещении, значительно изменяет технологическую схему производства проката *непрерывная разливка — готовый прокат* и сокращает цикл металлургического производства, исключая такие технологические

операции, как нагрев, транспортировку и складирование металла (рис.33,в).

2. Исходный металл и его подготовка к прокатке

В прокатных цехах металлургических предприятий прокатке подвергается сталь, которую разделяют на сталь обыкновенного качества, качественную, высококачественную и на стали и сплавы определенного назначения и со специальными свойствами.

По химическому составу различают углеродистые и легированные стали. Основным элементом, определяющим свойства углеродистых сталей, является углерод. По его содержанию различают стали низкоуглеродистые с 0,25 % С и менее, среднеуглеродистые с 0,25—0,60 % С и высокоуглеродистые 0,60—2,0 % С. Легированными сталями называют стали, в состав которых для получения требуемых свойств вводят один или несколько легирующих компонентов. К легирующим компонентам относят Cr, Ni, Mo, V, W, Co, Ti и др. Кроме того, к легирующим элементам относятся также Mn и Si, если они содержатся в большем количестве, чем в обычных сталях. Стали различают в зависимости от суммарного содержания легирующих компонентов: низколегированные (менее 2,5 %); среднелегированные (от 2,5 до 10 %); высоколегированные (более 10 %).

Марки сталей имеют условные обозначения, выраженные буквами и цифрами, отображающими химический состав стали: хром — Х, никель — Н, кобальт — К, кремний — С, вольфрам — В, ванадий — Ф, молибден — М, марганец — Г, медь — Д, фосфор — П, титан — Т, алюминий — Ю, селен — Е, бор — Р, азот — А, ниобий — Б. Цифры, следующие за буквами, указывают среднее содержание данного элемента в процентах, если за буквой отсутствует цифра — значит, содержание данного элемента около 1 %.

Стали и сплавы разделяют по назначению и свойствам.

По назначению прокатываемые стали разделяют на конструкционные, инструментальные и специальные. К наиболее распространенным сталям относятся конструкционные углеродистые и легированные стали.

Конструкционная углеродистая сталь обыкновенного ка-

чества в зависимости от назначения и гарантируемых характеристик разделяется на группы А, Б, В.

Химический состав стали группы А не гарантируется. Для стали этой группы гарантированными являются такие их характеристики, как предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение. Сталь группы А может поставляться в термически обработанном виде. Конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества группы А обозначают Ст0, Ст1, Ст2 и т.д. Индекс кп после марочного обозначения означает, что сталь кипящая, индекс пс — сталь полуспокойная, без индекса — сталь спокойная.

Стали группы Б маркируют следующим образом: БСт0, БСт1, БСт2 и т.д. Их гарантируемой характеристикой является химический состав, так как его подвергают термической обработке или горячей механической.

К стали группы В относят мартеновскую сталь марки ВСт1, ВСт2 и т.д. Для стали этой группы гарантируемыми характеристиками являются химический состав, механические свойства. Углеродистая сталь обыкновенного качества является основным материалом для металлических конструкций, а также используется для изготовления различных деталей машин. Последнее время все больше прокатывают низколегированную сталь, содержащую не более 0,25 % С и не более 3 % легирующих элементов. Эти стали широко применяют для изготовления строительных конструкций в связи с повышенными требованиями к качеству.

Качественная конструкционная углеродистая сталь обозначается так: 0,5кп, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65. Двузначные цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента с нормальным содержанием марганца, а стали марок 15Г, 20Г, 30Г, 40Г, 50Г, 60Г, 70Г — с повышенным содержанием Mn.

Качественную конструкционную углеродистую сталь с повышенным содержанием Mn применяют в авиастроении и автотракторостроении и других отраслях промышленности.

К прокатываемым углеродистым инструментальным качественным сталям относят стали марок У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Буква У обозначает: сталь углеродистая инструментальная, а цифра показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента.

К конструкционным легированным сталям относят стали:

хромистую (15Х, 20Х, 30Х, 35Х и др.), которую применяют для деталей машин в автотранспортной и автомобильной промышленности. Хромистая сталь с высоким содержанием углерода (0,9–1,1 %) и хрома (0,8–1,65 %) идет для изготовления колец, шариков, роликов, подшипников и имеет обозначения — ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ;

марганцовистую сталь (15Г, 20Г, 30Г и др.), имеющую высокую твердость, а также в некоторых случаях высокое сопротивление износу, что дает возможность использовать ее в деталях, подвергающихся высокому износу;

хромоникелевую сталь (33ХС, 38ХС, 60С2ХА, 50ХСА, 70С2ХА), обладающую высокими твердостью и упругостью и применяемую в связи с этим для изготовления рессор и пружины;

хромомарганцовистую сталь (20ХГ, 20ХГР, 40ХГР, 30ХГТ, 18ХГТ), применяемую частично в целях экономии никеля как заменитель хромоникелевой стали и используемую для изготовления автомобильных деталей;

хромованадиевую сталь (15ХФ, 50ХФА и др.), обладающую высокой прочностью, пластичностью, твердостью, упругостью и применяемую для изготовления ответственных пружин, валов, шестерен, муфт;

хромомолибденовую сталь (например, 30ХМА), обладающую высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и теплоустойчивостью при температурах 400–600 °С. Сталь этих марок служит для изготовления роторов, осей, зубчатых колес;

хромоникельвольфрамовую и хромоникельмолибденовую стали (30ХНВА, 40ХНМА, 18Х2Н4ВА и др.), предназначенные для нагруженных деталей машины, зубчатых колес, коленчатых валов, высоконагруженных шатунов.

К прокатываемым легированным инструментальным сталям относят:

сталь для режущего и мерительного инструмента (7ХФ–11ХФ, 13Х, ХВ4, 9Х1, Х, 12Х1, ХГС, ХВГ и др.);

сталь для штампового инструмента (Х6ВФ, Х12, Х12ВМ, 3Х2ВФ, 7Х3, 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ и др.);

сталь для ударного инструмента (4ХС, 6ХС, 4ХВ2С и др.).

Для режущего инструмента, который работает со снятием стружки при высоких скоростях резания, широко используют быстрорежущую сталь. Ее отличает высокая красностойкость,

т.е. способность сохранять высокую твердость, прочность и износостойкость при температуре до 600 °С. Эти стали обозначают буквой Р, следующая цифра означает среднее содержание W в процентах. Буквы Ф и К и цифры после них обозначают среднее содержание V и Со соответственно. Основными легирующими компонентами быстрорежущей стали Р9 и Р18 являются Cr, W, V. Высокая красностойкость быстрорежущих сталей обеспечивается за счет W.

В прокатных цехах все больше прокатывают стали с особыми физическими свойствами:

нержавеющие или коррозионностойкие стали (Х18Н9Т, 12Х18Н9, 12Х18Н10Т), обладающие большой пластичностью, высокими механическими и антикоррозионными свойствами. Эти стали содержат около 18 % Cr и около 9 % Ni. К нержавеющим хромистым сталям также относятся стали с содержанием хрома 13–17–25 % — (08Х13, 20Х13, 40Х13, 12Х17, 14Х17Н2, 15Х25Г и др.);

жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С и работающие в нагруженном состоянии, а также стали, работающие в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени. Химический состав этих сталей отличается большим разнообразием и имеет большое содержание Cr и Ni. Эти стали находят применение в котлостроении для изготовления паропроводов, паронагревателей, крепежных и других деталей;

электротехнические стали, предназначенные для изготовления трансформаторов, электрических машин, регуляторов и приборов. В зависимости от содержания кремния различают следующие группы электротехнической стали: слаболегированную (0,8–1,8 %); среднелегированную (1,8–2,8 %); высоколегированную (2,8–3,8 %), высоколегированную (3,8–4,8 %). На отечественных металлургических предприятиях электротехническую сталь изготавливают в виде тонкого листа толщиной 0,05; 0,10; 0,20; 0,28; 0,30; 0,35; 0,50; 0,65; 1,00 мм и шириной до 1000 мм и поставляют в виде листов и рулонов.

В сталеплавильных цехах получают сталь, которая содержит значительное количество растворенного кислорода в виде закиси железа, которая снижает ударную вязкость стали

и придает ей краснеломкость и хладнеломкость. Для освобождения стали от кислорода в нее добавляют раскислители Al, Ca, Mn, Ti в виде ферросплавов. В зависимости от степени раскисления различают спокойную, полуспокойную и кипящую сталь. Спокойная сталь изготавливается полностью раскисленной. Кипящая сталь производится при частичном восстановлении закиси железа с небольшим расходом раскислителей, что приводит к образованию большого числа газовых пузырей оксида углерода. Полуспокойная сталь раскисляется в меньшей степени, чем спокойная, и также в слитке образуется значительное количество газовых пузырей. По свойствам и структуре полуспокойная сталь занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной.

Исходный металл в прокатные цехи поступает в виде слитков и заготовок. Качество проката в значительной степени зависит от их качества. Применяют большое число типов слитков, различаемых по массе, форме поперечного и продольного сечений.

Масса и размеры слитка определяются мощностью прокатных станов (блужинги, слябинги), конструкцией нагревательных устройств, технологическими требованиями, свойствами стали и влияют на качество металла. Чем крупнее слиток, тем он неоднороднее по химическому составу и физическим свойствам. Масса слитков изменяется в широких пределах от 100 кг до 50 т. *По форме поперечного сечения* слитки бывают квадратного, прямоугольного, круглого, многогранного, овального. Наибольшее распространение получили слитки квадратного и прямоугольного сечений. Они удобны при нагреве, прокатке и транспортировке, хорошо захватываются валками и не сворачиваются при прокатке. Слитки квадратного и прямоугольного сечений применяют, главным образом, при прокатке блюмов (заготовок квадратного сечения) на блюмингах и слябов (заготовок прямоугольного сечения) на блюмингах и слябингах. Слитки круглого и многогранного сечений применяют при прокатке бандажей, колес, труб.

По форме продольного сечения слитки бывают уширенными книзу и сверху. Уширенными книзу разливают в изложницы слитки кипящей стали, а уширенными сверху — слитки спокойной стали. Уширением изложниц сверху и применением утепленных надставок уменьшают распределение усадочной

раковины по высоте слитка спокойной стали и повышают выход годного проката. Отношение высоты к средней толщине у слитков спокойной стали обычно находится в пределах 2,5–3, у слитков кипящей стали это отношение иногда достигает более 4.

Макроструктура затвердевшего слитка, т.е. структура слитка, видимая невооруженным глазом, весьма разнообразна и зависит от состава стали, температуры разлива, скорости застывания (рис. 34). Слитки застывают в изложнице неравномерно и их строение получается неоднородным. У стенок изложниц образуются мелкие кристаллы вследствие быстрого охлаждения стали. Дальше от стенок охлаждение замедляется и кристаллы растут свободнее. Рост их идет в направлении отвода тепла, и поэтому получаются вытянутые к центру столбчатые кристаллы, занимающие большую часть слитка. В центре сталь застывает еще медленнее и образуется новая зона кристаллов, которые растут свободно. В результате получаются крупные кристаллы с беспорядочной ориентацией.

С внедрением машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) на металлургических предприятиях в качестве исходного металла получают на них *непрерывнолитые заготовки*, которые отличаются от слитков однородностью химического сос-

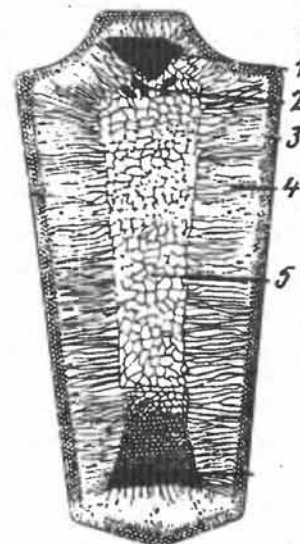


Рис. 34. Строение стального слитка:
1 — усадочная раковина; 2 — усадочная рыхлость; 3 — мелкие кристаллы; 4 — столбчатые кристаллы; 5 — разно ориентированные крупные кристаллы

тава. В таких заготовках отсутствуют усадочные пороки, что является большим их преимуществом.

При дальнейшей прокатке слитков и непрерывнолитых заготовок разрушается литая структура, изменяются формы и размеры зерен. Они измельчаются и вытягиваются в направлении наибольшей деформации. Плотность металла вследствие уничтожения имеющихся в литой структуре пустот несколько увеличивается. Кроме слитков и непрерывнолитых заготовок, в качестве исходного металла для получения изделий прокатного производства используют катаные заготовки различного поперечного сечения и размеров, к которым относятся:

блумы — раскаты квадратного сечения с закругленными углами и слегка вогнутыми сторонами размером 140—450 мм. Радиус закругления углов составляет 20—60 мм. Длина блюмов составляет от 1 до 6 м;

слябы — раскаты прямоугольного сечения толщиной 100—250 мм. По ширине слябы имеют размеры 300—2000 мм. Радиус закругления углов допускается до 30 мм. Длина слябов лежит в пределах от 1,3 до 5 м;

заготовки квадратного и близкого к нему сечения с закруглением углов со сторонами от 40 до 250 мм. Радиус закругления углов лежит в пределах от 7 до 35 мм в зависимости от размеров заготовки. Длина заготовки составляет 1—12 м.

Подготовка исходного металла к прокатке заключается в *удалении различных поверхностных дефектов*. Эта операция является важной, особенно при прокатке качественной углеродистой и легированной сталей. Удаление поверхностных дефектов или зачистку металлов производят либо только в местах залегания дефектов (местная или выборочная зачистка), либо по всей поверхности изделия (сплошная зачистка). Широкое распространение получили следующие способы зачистки: *огневая, абразивная и лезвийная*.

Наиболее производительным и дешевым способом зачистки является *огневая зачистка*, сущность которой заключается в сжигании поверхностного дефектного слоя металла в струе кислорода. Огневую зачистку осуществляют либо выборочно ручными резаками, либо на машинах огневой зачистки (МОЗ), установленных в потоке обжимных и сортопрокатных станов и снимающих сплошной слой металла толщиной от 1 до 5 мм на сторону.

Широкое распространение в прокатных цехах получила *абразивная зачистка кругами* для сплошного и выборочного удаления поверхностных дефектов. Для абразивной зачистки применяют подвесные стационарные и переносные специальные станки. Используемые для зачистки металла абразивные круги различаются по шлифующему материалу (карборундовые, электрокорундовые), связке (керамическая, бакелитовая), размеру зерна, твердости, профилю. Применение того или иного абразивного круга определяется свойствами зачищаемого металла. Широкое применение абразивные круги нашли для зачистки легированных и высоколегированных сталей и сплавов, не склонных к образованию шлифовочных трещин.

Лезвийная зачистка применяется в случае поражения поверхности металла глубокими дефектами. Одной из разновидностей лезвийной зачистки является зачистка горячего проката в технологическом потоке термофрезерными станками. Потери металла в стружку при зачистке на металлорежущих станках колеблются в пределах 0,5—1,5 %.

Имеет распространение на металлургических предприятиях удаление дефектов пневматическими молотками специальной заточки. Этот способ применяется для удаления местных дефектов в направлении оси заготовки. Получаемая при вырубке канавка должна быть достаточно пологой, а отношение ширины к глубине канавки принимают как 1 к 6. Меньшее соотношение приводит к появлению при прокатке на раскате закатов. Этот способ малопроизводителен и требует значительной затраты физического труда.

Важной отделочной операцией является *правка проката*, устраняющая искривление прокатываемого металла по длине. Правку производят на специальных *правильных механических* и *гидравлических прессах*, *растяжных машинах*, а также на *роликовых сорто- и листо-правильных машинах* с параллельными или косо расположенными роликами.

3. Нагрев металла перед прокаткой

Нагрев металла перед прокаткой осуществляется с целью *повышения его пластичности и уменьшения его сопротивления деформации*. Нагрев является одной из важных и основных операций в процессе прокатки. Он должен обеспечить равномерное распределение температуры по сечению прокатываемо-

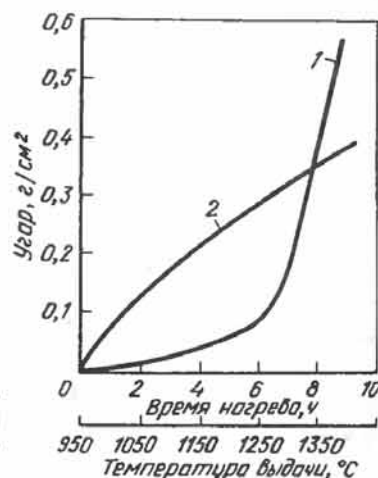
го металла, его минимальное окисление и обезуглероживание.

Характер передачи тепла определяет способ нагрева металла. Различают два способа: *прямой* и *косвенный*. Если тепло аккумулируется непосредственно в самом металле, а температура окружающей среды остается ниже температуры металла, то такой способ называется *прямым*. Если тепло металлу передается за счет соприкосновения его поверхности с какой-либо средой (газообразной, жидкой, твердой), нагретой до более высокой температуры, то такой способ нагрева называется *косвенным*. Передача тепла металлу при косвенном нагреве происходит за счет конвекции и излучения. Количество тепла, передаваемое излучением в нагревательных печах, достигает 80 % всего тепла. При нагреве металла происходит активное химическое взаимодействие его с окружающими газами, в результате чего поверхностные слои его окисляются и обезуглероживаются. *Окисление* поверхности металла называется *угаром*. При нагреве стали окисленный слой представляет собой окалину, которая образуется в результате диффузионного процесса окисления железа и примесей, входящих в состав стали. Окалина состоит из окислов железа в виде соединений Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO , располагающихся в трех слоях (рис. 35). Наружный ее слой Fe_2O_3 — гематит составляет примерно 2 % от общей толщины окалины, промежуточный слой Fe_3O_4 — магнетит примерно 18 %, а внутренний FeO — вустит — 80 %.



Рис. 35. Состав окалины, образовавшейся на поверхности металла при нагреве

Рис. 36. Влияние температуры в печи (1) и продолжительности нагрева (2) на окалинообразование



Образование окалины при нагреве приводит к потере годного металла. При нормальной работе нагревательных устройств угар металла составляет 1–2 % массы металла, а при неудовлетворительной их работе 4–5 %. Если учесть, что в процессе прокатки металл нагревается несколько раз, то можно принять угар в среднем 3–4 % от массы металла. Активное окалинообразование при нагреве стали начинается при температуре около 700 °C и возрастает особенно быстро при температурах выше 900 °C. На величину угара, то есть на величину образования окалины, влияют: температура нагрева, атмосфера рабочего пространства нагревательного устройства, продолжительность нагрева, химический состав металла, а также форма и размеры нагреваемой заготовки. На рис. 36 показано влияние температуры и продолжительности нагрева металла в печи на окалинообразование. Из рисунка видно, что окисление металла тем больше, чем больше времени он находится в печи при высоких температурах, и тем меньше, чем больше скорость нагрева.

При нагреве легированных сталей и сплавов окалинообразование снижается в результате наличия Cr, Ni, Al, Si и т.д. Эти легирующие компоненты образуют плотную пленку окислов, которая препятствует дальнейшему окислению металла.

На скорость окисления оказывает влияние состояние наружной поверхности металла. При наличии слоя окалины, образовавшегося в результате предыдущего нагрева, металл окисляется с меньшей скоростью, так как этот слой окалины предохраняет в какой-то степени металл от окисления. Отношение поверхности нагреваемого металла к его объему также оказывает влияние на окисление металла: чем больше это отношение, тем сильнее окисление металла.

Одновременно при нагреве металла происходит и *обезуглероживание* его поверхностного слоя, представляющее процесс взаимодействия печных газов с углеродом стали, приводящее к уменьшению содержания углерода в поверхностном слое металла. Глубина обезуглероженного слоя зависит от содержания углерода в стали, температуры и продолжительности нагрева. Углеродистые стали с содержанием углерода до 0,30–0,40 % почти не обезуглероживаются, а с содержанием углерода выше 0,40 % процесс обезуглерожива-

ния протекает тем интенсивнее, чем больше содержание углерода. Повышение температуры и продолжительности нагрева также увеличивают глубину обезуглероженного слоя. Таким образом, на процесс обезуглероживания влияют те же факторы, что и на окалинообразование.

Повышение температуры металла при его нагреве, как правило, благоприятно влияет на процесс прокатки. Однако при нагреве выше определенной для данной стали температуры происходит рост зерна, который ведет к ослаблению связи между ними и тем самым к ухудшению механических свойств стали. Что приводит к образованию на металле трещин и рванин. Такое явление называется *перегревом*. Иногда свойства перегретой стали можно улучшить, подвергнув ее термической обработке. Сильный перегрев исправить нельзя.

При температурах нагрева, близких к точке плавления стали, внутрь ее проникает кислород, который окисляет зерна. В результате связь между зернами стали настолько ослабляется, что металл при прокатке разрушается. Это явление называется *пережогом*. Оно происходит тем легче, чем выше температура нагрева и чем больше окислительная атмосфера в печи. Явления перегрева и пережога чаще всего возможны при вынужденной задержке металла в печи. Чтобы избежать перегрева и пережога необходимо понижать температуру печи и уменьшать количество подаваемого воздуха.

При назначении режимов нагрева металла обычно исходят из следующих параметров: температуры и скорости нагрева, времени выдержки при постоянной температуре (томления). При прокатке металл нагревают до возможно высоких температур, так как в этом случае снижаются расход энергии, усилие деформации, износ инструмента. При назначении температуры нагрева, как правило, верхний предел температуры нагрева ограничивается явлениями перегрева и пережога и устанавливается на 100–150 °С ниже точки плавления, а нижний предел — температурой рекристаллизации, т.е. минимально допустимой температурой конца прокатки. У некоторых сталей и сплавов температурный интервал прокатки достаточно узкий, ограниченный различными изменениями в структуре металла.

Примеры температурных интервалов некоторых сталей приведены ниже:

Марка стали	Температурный интервал	Марка стали	Температурный интервал
Ст0, Ст3, 10	1300–750	12Х18Н10Т,	1200–850
45, 40Х, 35ХГСА,	1250–800	40Х9С2	
10Г2, 40ХФА		08Х13, Р18,	1180–800
08Х18Н10Т,	1220–950	У7А, ХГВ,	
20Х23Н18		50Х1А	
		ШХ15, 9ХС,	1150–800
		90ХМФ, 12Х21Н5Т	

Скорость нагрева зависит от теплопроводности металла. Чем выше теплопроводность, тем выше скорость нагрева, и наоборот. Для сталей с низкой теплопроводностью нагрев со слишком большими скоростями может привести к образованию трещин в результате возникновения внутренних напряжений из-за перепада температур между поверхностями и внутренними слоями. Поэтому нагрев таких сталей следует вести медленно, особенно до 600–650 °С. При температуре нагрева выше 700 °С все стали можно нагревать с максимально возможной скоростью. Большая скорость нагрева обеспечивает не только высокую производительность нагревательных устройств, но и предотвращает образование некоторых дефектов.

После достижения заданной температуры нагрева с целью выравнивания температуры металла по его сечению его в течение определенного времени выдерживают в печи. Этот третий период нагрева улучшает качество нагреваемого металла, так как происходят некоторые структурные изменения, выравнивание химического состава в результате диффузии и соответствующее улучшение механических свойств, диффузионное удаление водорода, наличие которого в некоторых сталях приводит к образованию флокенов после прокатки.

Продолжительность нагрева в часах можно ориентировочно определить, например, по формуле Н.Н.Доброхотова:

$$\tau = \alpha k d \sqrt{d}, \quad (51)$$

где $\alpha=1-4$ — коэффициент, учитывающий укладку заготовок в печи, то есть коэффициент неравномерности подвода теплоты с разных сторон заготовки (рис. 37); k — коэффициент, учитывающий теплопроводность стали (для углеродис-

Расположение заготовок	α	Расположение заготовок	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2
			1,8

Рис.37. Схема расположения нагреваемых заготовок в печи

той и легированной стали $k=12,5$, для высоколегированной $k=20-25$; d — поперечное сечение, м.

В зависимости от технологии нагрева нагревательные устройства могут обеспечить *одно-, двух-, трех- и многоступенчатый* нагрев. Одноступенчатый нагрев осуществляется при постоянной температуре печи или при постоянном тепловом потоке. Его применяют для нагрева листов, труб, заготовок, сутунок и одиночных горячих слитков. При двухступенчатом нагреве на первой ступени осуществляется собственно нагрев, на второй — выдержка при постоянной температуре. Двухступенчатый нагрев применяется для нагрева горячего посада всех марок стали в двухзонных методических печах и холодного посада углеродистой стали в нагревательных колодцах.

Трехступенчатый нагрев состоит из первой ступени, на которой скорость нагрева поддерживается небольшой, на второй — ускоренный нагрев, и на третьей — томление при постоянной температуре. Этот режим применяют в трехзонных нагревательных печах, нагревательных колодцах и др. Многоступенчатый нагрев применяется при термической обработке. Он состоит из ряда периодов нагрева, выдержки и охлаждения.

По *режиму нагрева* различают *камерные и методические печи*. В рабочем пространстве камерной печи температура одинакова. В методической печи температура изменяется по длине печи.

По *способу загрузки и выгрузки* различаются печи перио-

дического и непрерывного действия. В печах периодического действия металл в процессе нагрева остается неподвижным. В печах непрерывного действия нагреваемый металл перемещается вдоль печи.

По *типу источников тепла* печи разделяются на *электрические* (индукционные, сопротивления) и *пламенные* (газовые и др.).

По способу использования тепла продуктов сгорания печи делятся на *рекуперативные* и *регенеративные*. Нагревательные колодцы применяют для нагрева слитков и бывают *регенеративные, рекуперативные и электрические*. Регенеративные и рекуперативные колодцы называются так потому, что в них используются регенераторы и рекуператоры — специальные устройства (насадки, трубы) для подогрева воздуха (до 800–850 °С) и газа (до 300–350 °С) за счет частичного использования тепла отходящих продуктов горения. Слитки нагревают в вертикальном положении, что предотвращает опасность смещения усадочной раковины и устраняет их кантовку. Большая часть поверхности слитков омывается продуктами сгорания и получает тепло излучения от кладки, что обеспечивает равномерный и быстрый нагрев. Длительность нагрева зависит от марки стали и составляет при горячем посаде 1–3 ч, при холодном 5–7 ч. В зависимости от формы слитков их размещают в нагревательных колодцах по-разному исходя из условия качественного их нагрева (рис. 38). В настоящее время предпочтение отдается рекуперативным нагревательным колодцам с отоплением из центра подины или с отоплением одной верхней горелкой, которые характеризуются высоким уровнем и качеством нагрева, достаточно простой конструкцией, компактностью (рис. 39). Каждая группа колодцев состоит из четырех камер. Годовая производительность одной группы составляет 250000 т нагретого металла в год. Угар металла в рекуперативных нагревательных колодцах достигает 2,5–3 % от массы нагревательных слитков.

Для нагрева блюмов, слябов и заготовок перед прокаткой используются *методические нагревательные печи* непрерывного действия различных типов и конструкций. Современные печи бывают двух-, трех- и многозонными. Наиболее важными классификационными признаками методических печей являются: температурный режим по длине печи; характер нагрева

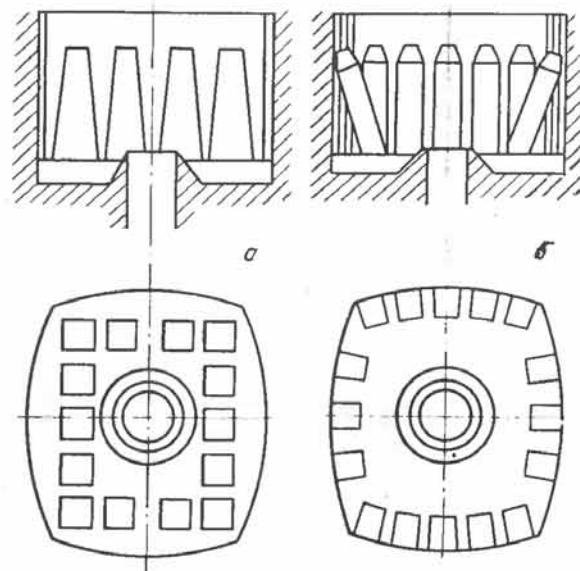


Рис.38. Схема размещения слитков в камере рекуперативных нагревательных колодцев:
а — уширенных к низу;
б — уширенных кверху

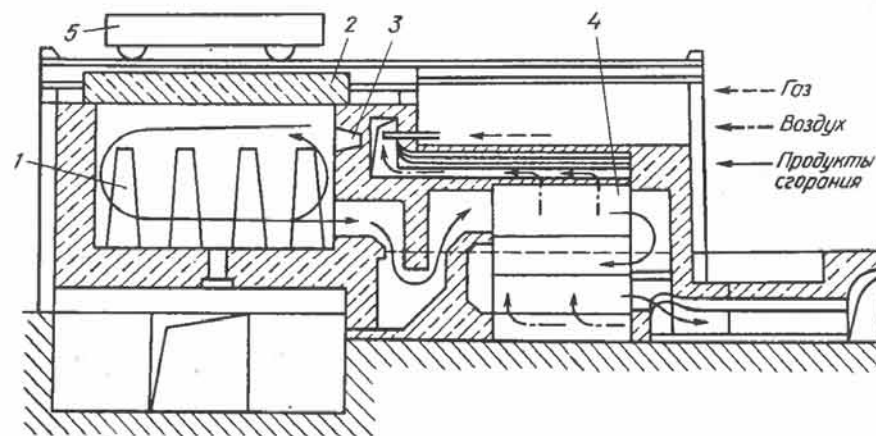


Рис.39. Схема рекуперативного нагревательного колодца с одной верхней горелкой:
1 — рабочая камера; 2 — крышка; 3 — горелки; 4 — рекуператор; 5 — машина для сдвига крышки

металла; способ выдачи металла из печи (боковая или торцовая выдача).

Нагреваемый металл в методической печи, перемещаясь от окна загрузки к окну выдачи, проходит последовательно зоны с различной температурой, соответствующей заданному режиму нагрева. По мере продвижения металл отбирает тепло у печных газов, движущихся ему навстречу, и постепенно (методически) нагревается. Печные газы, отдавая тепло металлу, в конце печи через соответствующие каналы попадают в регенераторы или рекуператоры и в боров, а через него в дымовую трубу (рис. 40). В I зоне — методической происходит нагрев до невысоких температур, во II зоне — сварочной — нагрев до температуры обработки, а в томильной зоне III — выдержка.

По способу перемещения нагреваемых заготовок методические печи разделяются на толкательные, с шагающим подом

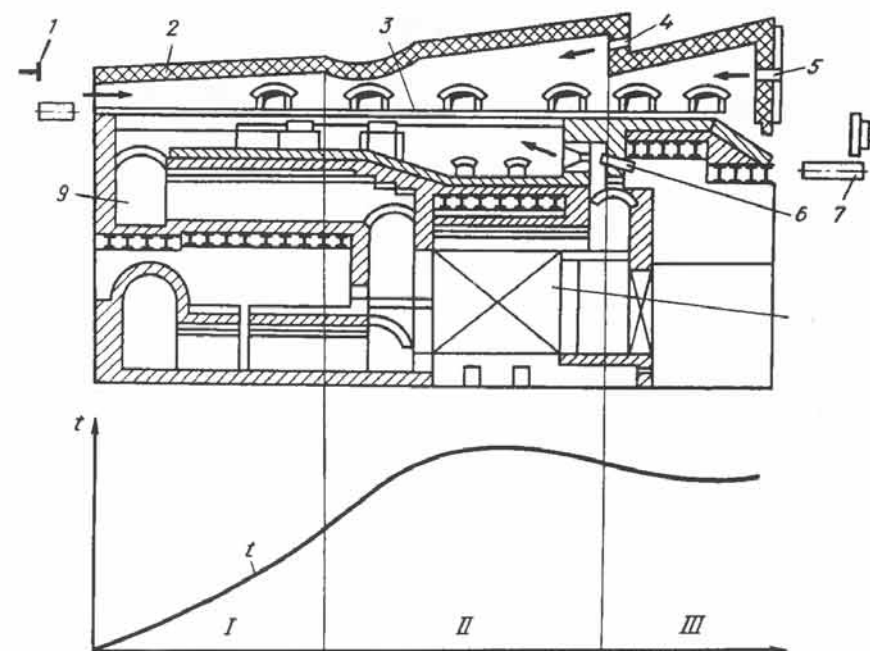


Рис.40. Схема трехзонной методической печи в разрезе и распределение температуры печи по зонам:

I, II, III — методическая, сварочная и томильные зоны; 1 — толкатель; 2 — свод печи; 3 — глиссажные трубы; 4 — торцевые горелки сварочной зоны; 5 — торцевые горелки томильной зоны; 6 — горелки зоны нижнего подогрева; 7 — приемный рольганг; 8 — рекуператор; 9 — боров

или балками и с вращающимися подом. Как было показано выше, в толкательных печах заготовки, подаваемые в рабочую камеру толкателем (на рис. 40, позиция 1), заполняют весь под, соприкасаясь друг с другом. По мере заталкивания новой заготовки вся масса нагреваемого металла продвигается к окну выдачи по водоохлаждаемым глиссажным трубам, и очередная заготовка по наклонным направляющим падает на приемный рольганг.

Принцип перемещения металла в печах с шагающим подом (балками) иной. Под печи состоит из подвижных (шагающих) и неподвижных балок. Шагающие балки поднимают заготовки, затем совершают движение вперед и опускают их на неподвижные балки. После этого подвижные балки возвращаются в исходное положение. Такое движение повторяется многократно. При этом заготовки, лежащие на шагающих балках с зазорами, перемещаются вдоль печи (рис. 41). По сравнению с

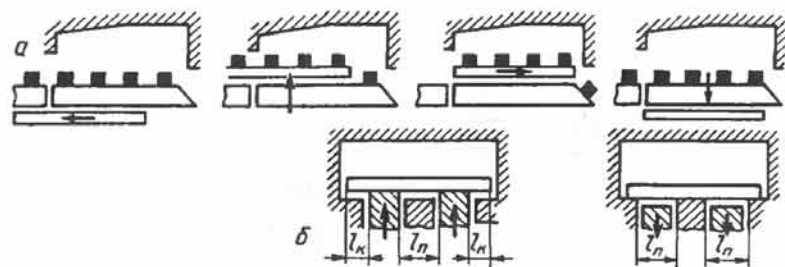


Рис. 41. Схема перемещения металла в печи с шагающим подом (а), (б) поперечное сечение печи: $l_{п}$ — длина пролета; $l_{к}$ — длина консоли

толкательными печами с шагающим подом (балками) имеют следующие преимущества:

- сокращение продолжительности нагрева и повышение его равномерности благодаря расположению заготовок на балках с зазорами и тем самым возможности обогреть их с трех или четырех сторон;

- более легкое освобождение печи от металла в случае аварийных ситуаций;

- возможность нагрева заготовок любой формы поперечного сечения;

- отсутствие ограничений печи по длине и ширине;
- лучшие технические показатели работы печи (табл. 3).

Для нагрева заготовок при поштучной прокатке тонких листов применяют печи с вращающимся подом или карусельные

Таблица 3. Технико-экономические показатели работы методических печей

Вид печи	Производительность, т/ч	Длительность нагрева, доли единицы*	Угар металла, %	Расход тепла, кДж/кг
Толкательные	≤ 300	1,00	$\leq 2,5$	≤ 3570
С шагающим подом	≤ 100	0,25–0,50	1,0–1,5	126–1596
С шагающими балками	≤ 450	0,75	$\leq 1,0$	2709

* За единицу принята длительность нагрева в толкательной печи.

(рис. 42). Заготовки укладываются через боковое окно загрузки на под печи, а обогрев печи осуществляется при помощи горелок, расположенных по окружности печи с внутренней и наружной сторон. По мере вращения пода на полный оборот заготовка нагревается до необходимой температуры и перемещается к боковому окну выдачи. Продолжительность нагрева определяется скоростью движения пода и длиной окружности печи.

Прогрессивным способом нагрева является индукционный нагрев. Металл, перемещаясь при помощи толкателя через индуктор нагревается за счет возникающих в нем вихревых токов (токи Фуко), создаваемых магнитным полем индуктора.

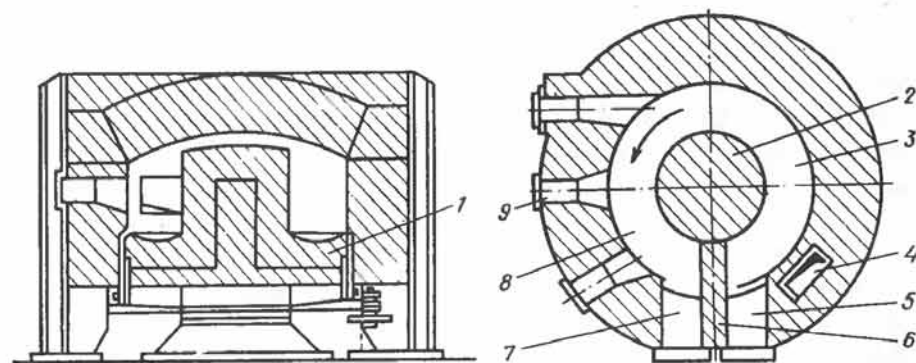


Рис. 42. Схема карусельной печи с вращающимся подом:

1 — под; 2 — выступ; 3 — зона подогрева; 4 — дымоотводящий канал; 5 — окно загрузки; 6 — перегородка; 7 — окно выдачи; 8 — зона высоких температур; 9 — горелки

Индукционный нагрев происходит быстро, экономично, с точной выдержкой заданной температуры.

Электроконтактный способ нагрева обеспечивает равномерное распределение температуры по поперечному сечению и высокую скорость нагрева. Металл при этом способе нагрева нагревается в 30–50 раз быстрее, чем при топливном нагреве. После нагрева практически не образуются окалина и обезуглероженный слой.

4. Охлаждение проката

Охлаждение проката является одним из основных заключительных процессов его производства.

Необходимость охлаждения проката вызвана предохранением его от образования поверхностных и внутренних трещин, остаточных напряжений и получением нужной структуры и физико-механических свойств металла.

Из-за неравномерной потери тепла по поперечному сечению проката при его охлаждении и происходящих в нем структурных превращений в нем возникают напряжения. В начальный период охлаждения поверхностные слои испытывают напряжения растяжения, а внутренние — напряжения сжатия. В последующие периоды охлаждения, наоборот, поверхностные слои — напряжения сжатия, внутренние — растяжения. Эти тепловые напряжения накладываются на напряжения, возникающие по другим причинам, и в результате величина их может достигнуть значений, превышающих прочность металла. В металле образуются внешние или внутренние микро- или макротрещины, которые служат причиной появления более глубоких трещин или даже полного разрушения. В зависимости от скорости падения температуры металла при его охлаждении применяется обычное, замедленное, ускоренное и быстрое охлаждение.

Обычное охлаждение металла осуществляется на воздухе, в стеллажах, на холодильниках. Такому охлаждению подвергают стали, не склонные к образованию трещин и флокенов. При обычном охлаждении металл должен терять температуру как можно быстрее.

Замедленное охлаждение применяется для уменьшения температурного перепада по сечению готового проката и обеспечения более полного протекания процесса рекристаллиза-

ции с целью снижения величины остаточных термических и структурных напряжений и предотвращения образования флокенов и трещин.

Замедленное охлаждение применяется в неотапливаемых колодцах и термостатах. В неотапливаемых колодцах скорость охлаждения контролируется и составляет 10–15 °C/ч. Продолжительность охлаждения зависит от марки стали и осуществляется до 3 сут. Термостаты представляют металлические емкости с двойными стенками, пространство между которыми заполнено теплоизолирующими материалами. Термостаты применяют для охлаждения мелкого сорта.

Ускоренное охлаждение характеризуется очень высокими скоростями охлаждения, достигающими 300–400 °C/с, и может применяться только к сталям, не чувствительным к образованию дефектов при любых скоростях охлаждения. По своей сути этот способ является закалкой стали с прокатного нагрева. Полнота закалки регулируется продолжительностью выдержки в воде или ее давлением и температурой воды. Целью ускоренного охлаждения является получение мелкозернистого строения стали; предотвращение образования карбидной сетки при прокатке высокоуглеродистой и подшипниковой стали; повышение физико-механических характеристик прокатанного металла; получение чистой от окалины поверхности проката; сокращение производственных площадей и снижение себестоимости проката.

Ускоренное охлаждение используется для листового проката и катанки перед сматыванием в рулоны и бунты. Применяют также водяное охлаждение на рольгангах и в трубах (рис. 43).

Быстрый (термоупрочняющий) режим охлаждения обеспечивает закалку с последующим режимом самоотпуска с прокатного нагрева. С этой целью применяют регулируемые системы быстрого охлаждения водой. При охлаждении металла могут образовываться наружные и внутренние трещины (флокены). Наружные трещины образуются в результате возникновения остаточных напряжений при прокатке и охлаждении. Наружные трещины бывают разной длины — от очень малой до очень большой и вытягиваются в направлении прокатки. Наиболее склонными к образованию трещин являются быстрорежущая, инструментальная легированная, высокохромистая, хромоникелевая и другие марки стали.

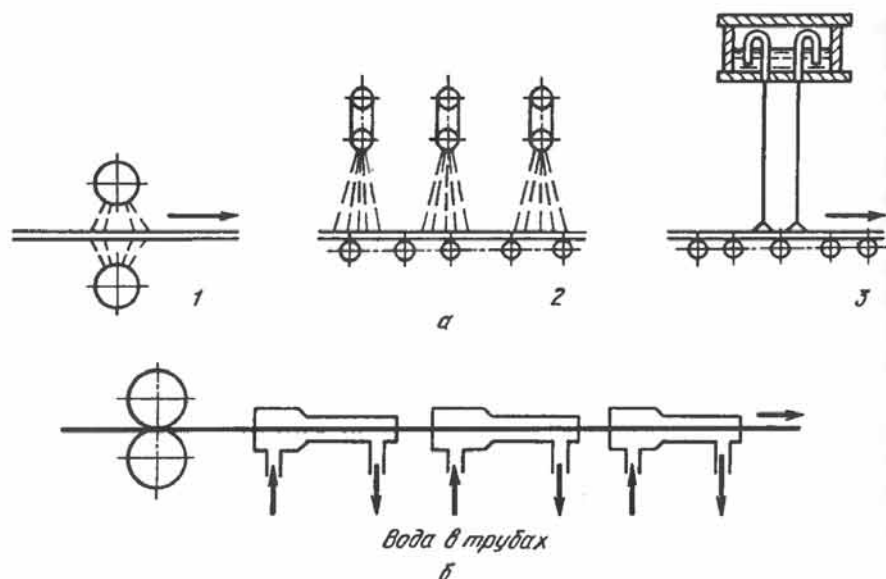


Рис. 43. Схема ускоренного охлаждения листового проката (а) и катанки (б): 1 — в закалочном прессе; 2 — душирование; 3 — ламинарное охлаждение

Флокены представляют собой внутренние трещины. Флоко-ночувствительными сталями являются хромоникелевая, хро-мистая, марганцовистая и другие стали. Наиболее часто флокены обнаруживают на бляхах, слябах и заготовках, а также на готовом прокате крупных размеров, прокатываемых на крупносортовых и среднесортовых станах.

Для предупреждения образования трещин и флокенов при-меняют замедленное охлаждение и термическую обработку по-лупродукта.

5. Отделка проката

Отделка проката является заключительной технологической операцией процесса прокатки, позволяющей получить прокат с требуемыми ГОСТом и ТУ механическими и другими служеб-ными свойствами и придать ему товарный вид. К отделочным операциям относятся термическая обработка, очистка по-верхности от окалины, порезка и правка, сплошная и выбо-рочная зачистка поверхностных дефектов, контроль качества металла, маркировка, упаковка и т.д.

Важную отделочную операцию сортовой стали представляет

собой *термическая обработка*. Наиболее распространенными способами термической обработки являются различные виды *отжига* — полный, неполный, изотермический, рекристаллиза-ционный, сфероидизирующий, диффузионный, а также нормали-зация, закалка и отпуск. Слитки и полупродукт обычно от-жигают для снятия внутренних напряжений и снижения твер-дости металла.

При производстве сортового и листового проката широкое распространение получила термомеханическая обработка и ее разновидности — высокотемпературная, низкотемпературная и контролируемая, в которых сочетаются процессы пластичес-кой деформации и фазовые превращения в стали. Одним из перспективных способов упрочнения сортового проката явля-ется термомеханическая обработка в технологическом потоке за чистовыми клетями станов.

Очистка поверхности проката осуществляется травлением его в растворах серной или соляной кислот. В процессе травления часть окалины растворяется, а часть отслаивает-ся. Прокат после травления промывают в чистой воде и нейтрализуют в щелочной ванне (рис. 44). К другим спосо-бам удаления окалины следует отнести дробеметный и иглоф-резирование.

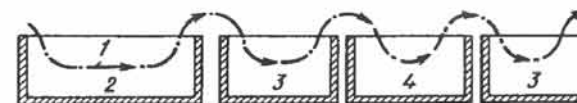


Рис. 44. Схема травления проката: 1 — конвейер; 2 — травильная ванна; 3 — промывная ванна; 4 — нейтрали-зационная ванна

Резку металла осуществляют в холодном и подогретом состоянии на адьюстаже стана. Ее применяют на всех стади-ях, начиная с раскроя проката на требуемые длины и закан-чивая вырезкой проб для контроля качества металла.

Правку металла используют как с целью придания прокату товарного вида, так и с целью осуществления необходимых отделочных операций (светление, абразивная зачистка, снятие заусенцев). Правку осуществляют одно- или многок-ратным перегибом проката на прессе, в правильных машинах или растяжением в зажимных головках правильно-растяжной машины.

Различают *сплошную* и *выборочную зачистку* поверхности проката. Сплошную зачистку применяют в случае значительной пораженности дефектами проката; выборочную — при наличии на поверхности проката или единичных дефектов, или небольших дефектных участков. Выборочной зачистке часто предшествует светление или травление поверхности проката с целью обнаружения и обозначения дефектов. Зачистка поверхности проката осуществляется методами, которые рассматривались выше. Отделку листовой стали после холодной прокатки проводят в листах или рулонах. Листы получают порезкой рулонов на специальных агрегатах, установленных за станами холодной прокатки. Отдельные операции в рулонах проводят после холодной прокатки, разделка рулонов на листы является завершающей стадией. После холодной прокатки листовой стали для устранения наклепа и получения необходимой структуры холоднокатаную сталь отжигают.

Пакетирование и увязка проката являются окончательной операцией прокатного производства. Их качество определяет товарный вид пакетов и их сохранность при транспортировке. В зависимости от профиля и размеров прокат собирают в круглые или прямоугольные пакеты. Некоторые способы укладки профилей приведены на рис. 45.

Укладку осуществляют на специальных пакетировочных

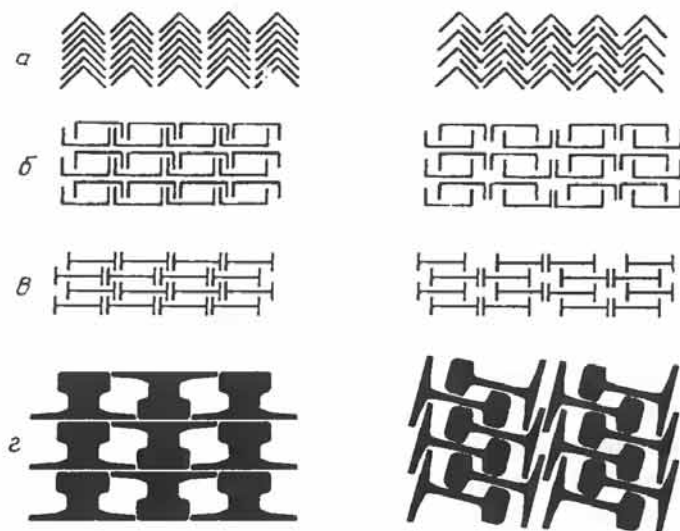


Рис. 45. Схема укладки различных профилей сортового проката: а — уголков; б — швеллеров; в — двутавровых балок; г — рельсов

столах. Мелкосортный прокат собирают в пакеты заданной массы в обычных карманах или оборудованных вибрационными и формующими приспособлениями. Увязка пакетов осуществляется отоженной низкоуглеродистой проволокой диаметром от 1 до 7 мм или лентой толщиной от 0,6 до 1,2 мм и шириной 20–30 мм.

6. Производительность и технико-экономические показатели работы прокатных станов

Важным показателем работы прокатных станов является их *производительность*, то есть количество металла, прокатанного на стане в единицу времени (час, смену, сутки, месяц, год). Обычно производительность определяют по массе годного металла, полученного после его отделки. При расчете производительности обжимных, а также толстолистовых станов ее определяют по всаду, т.е. по массе поступивших на стан слитков.

Основным показателем использования прокатного стана является его производительность в *фактический час* работы:

$$A = 3600G/T, \quad (52)$$

где G — масса слитка (блюда, сляба, рулона, готового проката), т; T — ритм прокатки, с.

Как видно из формулы, часовая производительность прокатного стана прямо пропорциональна массе прокатываемого металла и обратно пропорциональна ритму прокатки. Ритм прокатки определяется временем, необходимым на осуществление процесса прокатки металла с учетом основных и вспомогательных операций. Чем меньше ритм прокатки, тем выше производительность.

В зависимости от протекания технологического процесса различают станы, на которых одновременно прокатывается только один раскат, в этом случае прокатка последующей заготовки начинается только после окончания предыдущей, и станы, на которых одновременно прокатывается несколько раскатов, здесь прокатка ведется с перекрытием. К станам первой группы относятся одноклетевые нереверсивные, двухвалковые одноклетевые реверсивные, четырехвалковые реверсивные и другие. Ритм прокатки для таких станов

$$T = \Sigma \tau_m + \Sigma \tau_n + \tau_o, \quad (53)$$

где $\Sigma \tau_m$ — суммарное машинное время всех проходов, с; $\Sigma \tau_n$ — суммарное время пауз, с; τ_o — интервал между раскатами, с.

К станам второй группы относятся двухклетевые станы с последовательным расположением клеток, трехклетевые линейного типа и станы с последовательным расположением клеток, а также полунепрерывные и непрерывные станы. Ритм прокатки одной заготовки накладывается на ритм прокатки другой, как бы перекрывая друг друга. Прокатка с перекрытием характерна главным образом для многоклетевых станов. Пример прокатки с перекрытием показан на рис. 46. На рисунке видно, что если заготовка *A* (жирная горизонтальная

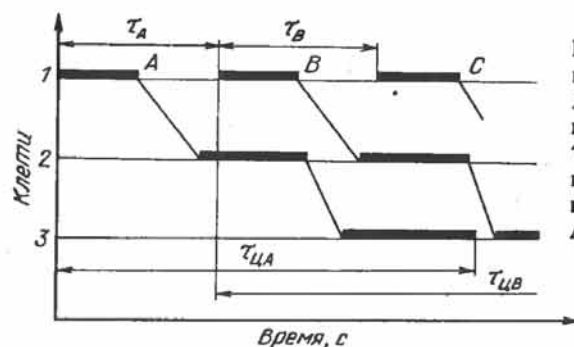


Рис. 46. Схема прокатки с перекрытием:
1, 2, 3 — номера прокатных клеток; ABC — заготовки; τ_A, τ_B — ритмы прокатки заготовок A, B; $\tau_{цA}, \tau_{цB}$ — циклы прокатки заготовок A, B

линия) передается (передача изображена наклонной линией) из первой клетки во вторую, то почти сразу прокатывается в первой клетке следующая заготовка *B*. Затем при передаче заготовки *A* в третью клетку, заготовка *B* передается во вторую клетку. Для данного случая цикл прокатки заготовки составляет прокатка ее в трех клетках. Видно, что цикл прокатки заготовки $\tau_{цA}$ перекрывается циклом прокатки заготовки $\tau_{цB}$.

В случае прокатки на нереверсивных станах продолжительность машинного времени за каждый отдельный проход определяется по формуле

$$\tau_m = L/v, \quad (54)$$

где L — длина полосы после прохода, м; v — скорость прокатки, м/с.

Скорость прокатки определяется из выражения $v = \pi D_k n$, где D_k — рабочий диаметр валков; n — частота вращения валков, с⁻¹.

Практически часовая производительность прокатного стана будет ниже технически возможной, так как при работе прокатного стана неизбежны потери времени, связанные с нарушением технологии, нечеткостью и неорганизованностью работы стана. Эти потери времени учитываются коэффициентом использования стана $k_{и}$, который определяется отношением чистого времени прокатки к фактическому времени работы стана. Обычно коэффициент использования стана лежит в пределах 0,85–0,95.

В общем случае часовая производительность определяется по формуле

$$A = (3600/T) G k_{и}. \quad (55)$$

При определении годовой производительности прокатного стана исходят из фактического числа часов работы стана в течение года, которое равно разности календарного числа часов и числа часов остановки стана по различным причинам.

Годовая продолжительность работы прокатных станов дана ниже:

Прокатный стан	Капитальные и планово-предупредительные ремонты, сут	Номинальное время работы в году, ч	Продолжительность простоев, ч	Число рабочих часов в году, ч
Блюминг	16	8376	676	7700
Блюминг с непрерывным заготовочным станом	16	8376	876	7500
Рельсобалочный, крупносортовый, среднесортный	20	8280	1480	6800
Непрерывный и полунепрерывный	16	8376	1276	7100
Мелкосортный непрерывный и полунепрерывный	20	8280	980	7300
Непрерывный проволочный	20	8280	780	7500
Штриповый	16	8376	1076	7300

Прокатный стан	Капитальные и планово-предупредительные ремонты, сут	Номинальное время работы в году, ч	Продолжительность простоев, ч	Число рабочих часов в году, ч
Непрерывный и полунепрерывный широкополосный	27	8112	1112	7000
Стан холодной прокатки:				
трех- и четырехклетевой	27	8112	812	7300
реверсивный и дрессировочный	27	8112	612	7500
пятиклетевой и дрессировочный (для шести)	27	8112	1112	7000

При производстве проката важное значение имеет знание затрат на производство того или иного вида проката. Эти издержки производства называются *себестоимостью*. В себестоимость 1 т готового проката входят расходы металла, топлива, электроэнергии, воды, валков, смазочных материалов, огнеупоров и прочие расходы. Расход металла зависит от марок прокатываемых сталей, сортамента конечной продукции, типа прокатного стана и складывается из потерь металла на угар в нагревательных печах и во время прокатки, а также потерь на обрызг, отбор на контрольные пробы, брак, недокаты.

Расход металла на стане определяется *расходным коэффициентом*, который представляет отношение количества металла, необходимого для производства 1 т готового проката к 1 т готового проката. Так, если на получение 1 т готового проката израсходовано 1250 кг металла, а 250 кг металла ушло на различные потери, то расходный коэффициент будет равен $K=1250/1000=1,25$. Расходный коэффициент всегда больше единицы.

При прокатке на блюминге расходный коэффициент равен 1,08–1,265, на слябинге он лежит в пределах от 1,12 до 1,36. При прокатке толстых листов расходный коэффициент равен для кипящей углеродистой стали – 1,18–1,23; для спокойной углеродистой стали – 1,20–1,25; для низколегированной стали – 1,20–1,27. На непрерывных станах горячей прокатки листов расходный коэффициент равен 1,03–1,075.

При определении *расхода топлива* учитывается тип нагревательных устройств, их конструкция, форма и размеры нагреваемого исходного металла, температура посадки и его дачи. Данные расхода топлива в нагревательных печах различного типа следующие:

Прокатный стан	Тип нагревательного устройства	Расход топлива, 10 ³ кДж
Блюминги, слябинги	Нагревательные колодцы	1140,7
Рельсобалочные, крупносортовые и среднесортные	Методические двух- или трехзонные печи с глиссажными трубами	2281,4
Мелкосортные, проволочные и штрипсовые	Методические печи без глиссажных труб	1559,4
Толстолистовые и универсальные листовые	Методические трехзонные с глиссажными трубами	2512
Непрерывные и полунепрерывные широкополосные	Методические печи трех- или пятизонные	2281,4

В настоящее время в нагревательных колодцах осуществляется нагрев 90 % слитков методом горячего посада (температура посада 850 °С) и 10 % холодного посада. Горячий посад значительно сокращает время нагрева и тем самым расход топлива на 1 т нагреваемого металла.

При прокатке на различных станах *расход электроэнергии* изменяется в довольно широких пределах. Расход электроэнергии зависит от типа прокатного стана, схемы прокатки, энергоемкости прокатываемых профилей данного стана и других факторов. Данные удельного расхода электроэнергии при прокатке на различных прокатных станах с учетом их типа и принятой технологии прокатки на них, характеризуются следующим:

Станы	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Станы	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
Блюминги 1300, 1150, 1000	12–15	Непрерывные штрипсовые	50
Слябинги 1260, 1150	12	Непрерывные широкополосные горячей прокатки	60
Непрерывные заготовочные 900/730/530	20–24	Толстолистовые и универсальные	60
Непрерывные заготовочные 730/530	12		
Рельсобалочные (с учетом термообработки рельсов)	65		

Крупносортовые 500—600 . . . 35—55
Непрерывные и полунепрерывные:

среднесортные 35—42
мелкосортные 55
проволочные 50

Цехи холодной прокатки:

стали ка-
чествен-
ной 100
стали обыкновенного
качества 95
оцинкованной
стали 150
динамической ста-
ли 500
жести белой
электроли-
тического лу-
жения 300

Вода в прокатных цехах расходуется на различные технологические операции, такие как охлаждение нагревательных устройств, удаление окалины с поверхности металла, смыв окалины, охлаждение валков и подшипников скольжения, приготовление травильных растворов, смазочноохлаждающих жидкостей, электролитов и др.

Данные о среднечасовых расходах воды на различных прокатных станах приведены ниже:

Стан	Расход воды, м ³ /ч	Стан	Расход воды, м ³ /ч
Блюминг	2000—3000	Мелкосортный	1800—2700
Слябинг	3000—4500	Проволочный	2000—4200
Непрерывный заготовочный	2300—3000	Толстолистовой	2300—3000
Рельсобалочный и крупносор- тный	2200—2700	Листовой непрерыв- ный и полунепрерыв- ный горячей прокат- ки	1200—8000
Среднесортный	2200—2700	Листовой непрерыв- ный холодной про- катки	1000—18000

В процессе производства проката валки прокатных станов изнашиваются. Их износ зависит от ряда факторов: сортамента прокатной продукции, качества изготовления валков, числа переточек валков, применяемой системы калибровки или профилирования, температурного режима работы валков и др. Расход валков относят к одной тонне годного проката. Существенное изменение расхода валков возможно в результате восстановления изношенных валков различными способами.

Данные о расходе валков, приведенные ниже, следующие:

Стан	Количество про- катанного металла между переточками, т	Число перето- чек од- ного вал- ка, ед	Расход валков, кг/т
Блюминг 1300, 1150	200000	5	0,06—0,08
Слябинг 1250, 1150:			
горизонтальные валки	200000—250000	6	0,07—0,09
вертикальные валки	120000—150000	12	—
Блюминг 1000	120000—140000	5	0,08
Непрерывный заготовочный	75000—155000	8	0,09—0,12
Рельсобалочный	1500—25000	6—15	3,5—4
Крупносортовый 650	1500—15000	5—6	3,5—4
Среднесортный непрерывный 350—450	2000—10000	5	2—2,65
Мелкосортный непрерывный 250—300	4000—20000	4—8	0,3—0,4
Проволочный непрерывный	7000—25000	5—10	0,4—0,5
Толстолистовой	3000—100000	10—50	1,25
Широкополосный непрерыв- ный	2500—100000	20—60	0,8—1,5
Непрерывный пятиклетевой хо- лодной прокатки	400—20000	20—50	1,25

Расход смазочных материалов зависит от типа прокатного стана, конструкции отдельных его узлов и механизмов.

Данные о расходе смазочных материалов следующие:

Прокатный стан	Расход смазочных материалов, кг/т	Прокатный стан	Расход сма- зочных ма- териалов, кг/т
Блюминг, слябинг	0,03	Сортовой непре- рывный и полу- непрерывный	0,3
Заготовочный непрерыв- ный	0,07	Мелкосортный и проволочный непре- рывный	0,5
Рельсобалочный и круп- носортовый	0,5	Широкополосный непрерывный и полунепрерывный	0,2

Огнеупорные изделия в прокатных цехах используют для ремонта различных нагревательных печей. Величина расхода огнеупоров, количества огнеупоров в кг на тонну проката, для нагревательных колодцев равна 2,5 кг/т, для нагревательных методических печей 0,6 кг/т.

1. Какие технологические схемы производства проката используются на металлургических предприятиях?
2. По каким признакам классифицируют стали и сплавы?
3. Что представляет собой исходный металл в прокатных цехах?
4. В чем заключается подготовка исходного металла к прокатке?
5. Какими нежелательными процессами сопровождается нагрев металла?
6. Какие нагревательные устройства применяют в прокатных цехах?
7. С какой целью используют в прокатных цехах охлаждение проката?
8. Перечислите отделочные операции, применяемые в прокатных цехах.
9. Как определяется производительность прокатного стана?
10. Перечислите технико-экономические показатели работы прокатных станов.

Глава 4. АГРЕГАТЫ И МЕХАНИЗМЫ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Прокатным станом называется комплекс агрегатов и механизмов, предназначенный для деформации металла в валках (собственно прокатка), дальнейшей его обработки с целью придания ему улучшенных качеств (правка, зачистка, термообработка, нанесение покрытий и т.д.), его транспортирования и складирования. В прокатных цехах устанавливаются нагревательные устройства, печи для отжига и нормализации, станки для шлифования и нарезки калибров на валках и т.д. Все это, а также подъемные краны и другое оборудование не входят в понятие "прокатный стан", однако они необходимы для работы прокатного цеха и производства проката высокого качества.

Агрегаты и механизмы прокатных станов следует разделить на две группы: *основное оборудование* — агрегаты и механизмы главной линии прокатного стана и *вспомога-*

тельное оборудование — агрегаты и механизмы поточных технологических линий прокатных цехов.

1. Агрегаты и механизмы главной линии прокатного стана

На рис. 47 представлена схематично главная линия прокатного стана. Процесс деформации осуществляется в валках рабочей клетки, вращение которым через шестеренную клетку и редуктор при помощи шпинделей и муфт передается от электродвигателей.

Привод валков

Привод валков рабочих клеток прокатных станов осуществляется при помощи электродвигателей переменного и постоянного тока. Электродвигатель, обеспечивающий вращение валков, называется *главным электроприводом*.

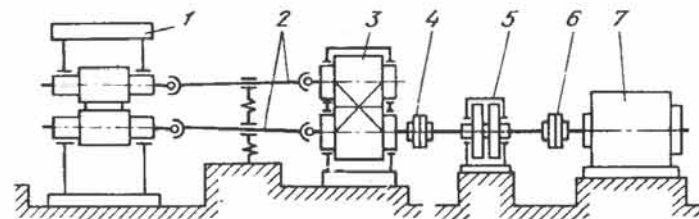


Рис. 47. Главная линия прокатного стана:
1 — рабочая клетка; 2 — шпиндели; 3 — шестеренная клетка; 4 — коренная муфта; 5 — редуктор; 6 — моторная муфта; 7 — электродвигатель

Электродвигатели переменного тока используют на станах с постоянной скоростью прокатки — на линейных и непрерывных станах.

Электродвигатели постоянного тока используют, когда необходимо регулировать скорость прокатки — на непрерывных станах, блюмингах, слябингах и др. Электродвигатели должны не только обеспечивать требования технологического процесса прокатки, но и давать возможность выполнять их с необходимой гибкостью. Мощность привода должна быть такова, чтобы удовлетворять требуемым усилиям прокатки и натяжению полосы. Кроме того, электродвигатели должны обеспечивать и необходимый скоростной режим.

Размещают электродвигатели в машинных залах, но иногда и в пролете прокатного стана. Существуют *индивидуальный* и

групповой приводы. При индивидуальном приводе вращение осуществляется в одной клетке. Если от одного электродвигателя приводится группа клеток прокатного стана, такой привод называется групповым. В первом случае привод осуществляется через редуктор с коническими шестернями. При индивидуальном приводе редуктор устанавливают с целью повышения скорости вращения двигателя и тем самым уменьшения его мощности.

На некоторых станах применяется привод каждого валка от отдельного электродвигателя. В этом случае шестеренная клетка и редуктор отсутствуют.

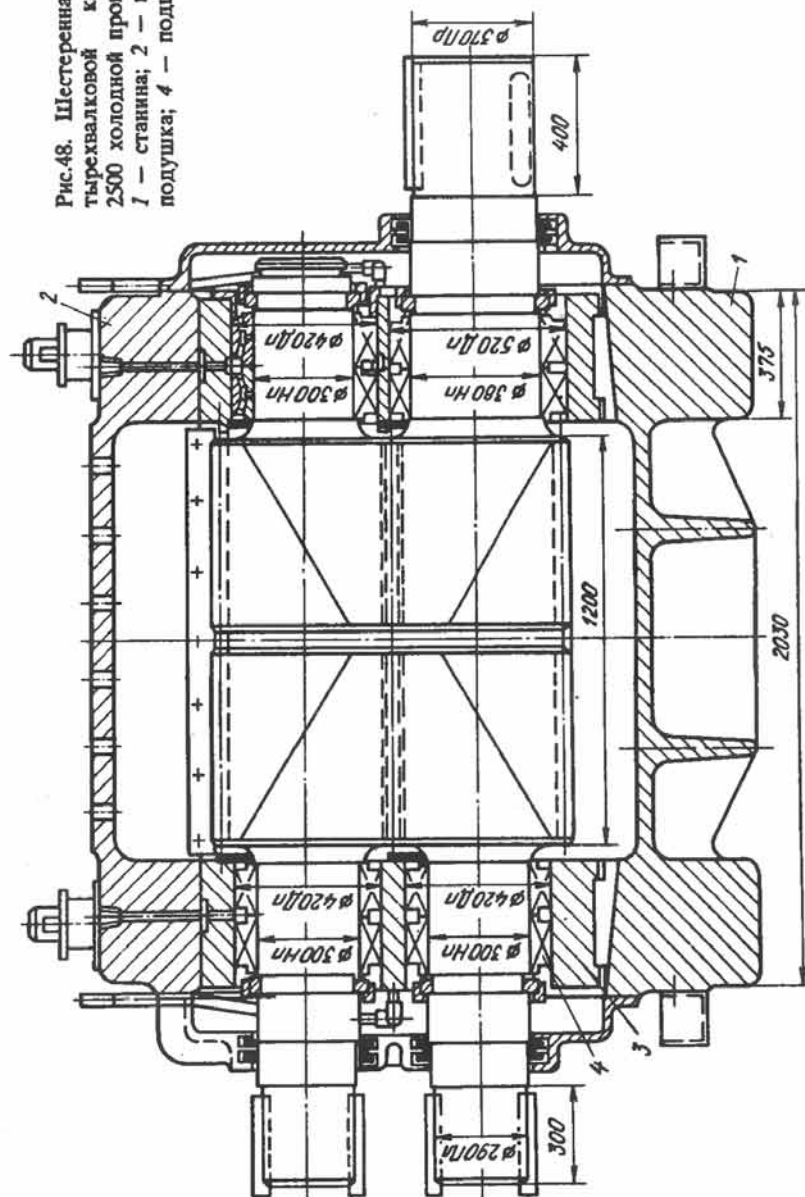
Шестеренные клетки предназначены для передачи вращения от одного коренного вала двигателя двум, трем или четырем валкам прокатной клетки. Число шестерен соответствует числу рабочих валков. Шестеренные клетки делают открытыми, со съемной крышкой. К подшипникам и зубчатым зацеплениям шестерен непрерывно подается жидкая смазка. Размеры шестерен (диаметр и длина) близки к размерам рабочих валков (рис. 48).

Станины и крышки изготавливают из высокопрочных или модифицированных марок чугуна. Шестерни изготавливают из ковanej легированной стали марки 4ХН, а зубья шестерен подвергают поверхностной закалке. В шестеренных клетках применяют роликовые конические подшипники или баббитовые. К подшипникам и зубчатому зацеплению непрерывно подается жидкая смазка.

Размеры шестеренных валков выбирают в зависимости от типа стана, диаметра рабочих валков, высоты подъема и передаваемого крутящего момента. Если частота вращения валков меньше частоты вращения электродвигателя, то между двигателем и шестеренной клеткой устанавливается понижающий редуктор. На обжимных реверсивных прокатных станах применяют безредукторный привод.

В зависимости от частоты вращения двигателя и скорости прокатки изготавливают одно-, двух- или трехступенчатые редукторы. Для равномерной нагрузки на подшипники редуктора шестерни устанавливают по возможности симметрично. Передаточное число каждой ступени равно 4–6. В некоторых конструкциях шестеренные клетки и редукторы устанавливают в одном корпусе. Достоинство такой конструкции в ее компактности.

Рис. 48. Шестеренная клетка четырехвалковой клетки стана 2500 холодной прокатки.
1 — станина; 2 — крышка; 3 — подушка; 4 — подшипник



Шпиндели. Для передачи вращения валкам от шестеренной клетки или электродвигателя применяют шпиндели двух типов: универсальные шарнирные и зубчатые. Универсальные шпиндели (рис. 49) позволяют передавать большие крутящие моменты, допуская при этом значительные вертикальные перемещения валков. В зависимости от величины передаваемого крутящего момента из условия прочности угол наклона шпинделя на обжимных, толстолистовых и заготовочных станах устанавливается в пределах $3-10^\circ$, а на листовых до $1-2^\circ$, при этом угол наклона нижнего шпинделя несколько меньше наклона верхнего шпинделя из-за более тяжелых условий работы. Шпиндели изготавливают из углеродистой кованой стали 40 или из легированной стали 40X.

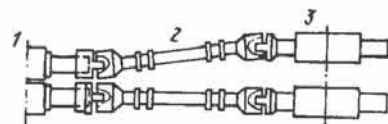


Рис.49. Универсальные шпиндели:
1 — шестеренная клетка; 2 — шпиндель;
3 — рабочие валки

Для высокоскоростных станов холодной прокатки применяют зубчатые шпиндели с бочкообразным профилем зуба, допускающие рабочие углы перекаса.

Муфты главной линии прокатного стана должны предохранить стан от перегрузки и компенсировать перекас осей валков. В основном применяют зубчатые муфты и гибкие муфты с резиновыми баллонами (рис. 50). Зубчатые муфты могут передавать большие крутящие моменты при радиальном смещении и перекасе валков. Зубчатые муфты постоянно заправляются смазкой. В последнее время все больше используют гибкие муфты. Они просты в изготовлении, бесшумны в работе, не требуют смазки и также допускают смещение и перекас валков.

Рабочие клетки прокатных станов

Основой прокатного стана является рабочая клетка, в которой осуществляется собственно прокатка металла. Конструкция, размеры и масса рабочих клеток зависят от назначения и специализации прокатных станов, условий процесса прокатки металла, числа рабочих валков в самой клетке, уровня технического прогресса в прокатном производстве.

Рабочая клетка прокатного стана должна удовлетворять

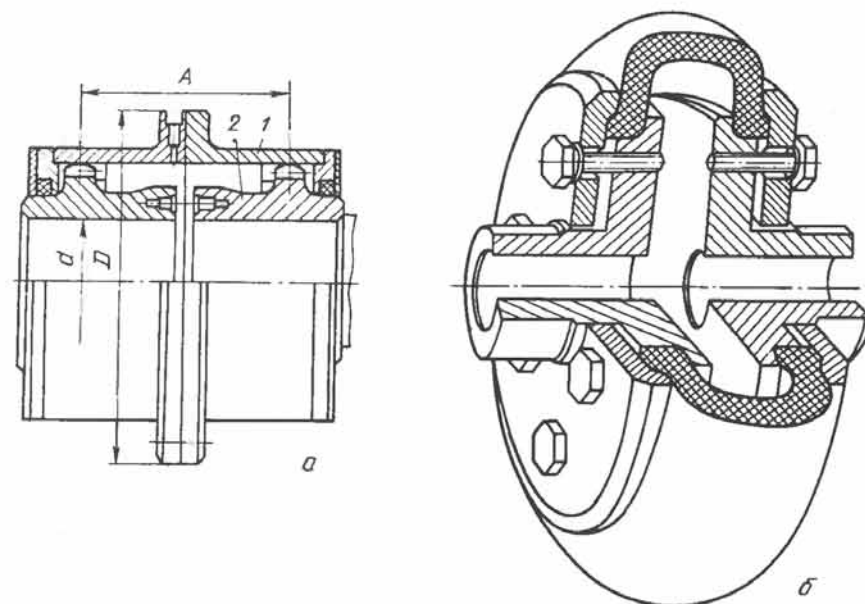


Рис.50. Муфты прокатного стана:
а — зубчатая муфта; б — муфта с резиновым баллоном; 1 — зубчатые обоймы;
2 — зубчатые втулки

следующим требованиям: доступность обслуживания при эксплуатации и ремонте, быстрота смены валков, высокая прочность станины и других элементов клетки не только при рабочих давлениях, но и в непредвиденных аварийных случаях. Основными элементами рабочих клеток являются станина, валки, подшипники, подушки, механизмы для установки и уравнивания валков (рис.51).

Станины рабочей клетки относятся к самым ответственным деталям рабочей клетки. Две станины, соединенные стяжными болтами или траверсой, образуют основу рабочей клетки. Каждая станина состоит (рис. 52) из двух стоек, а также верхней и нижней поперечин. Рабочая клетка крепится к плитине либо болтами, либо специальными гидравлическими зажимами, которые позволяют быстро производить замену станины. По конструкции станины делят на открытого и закрытого типа. Крышка станины открытого типа крепится с помощью откидных с клиновым соединением болтов к стойкам станины, что облегчает перевалку валков клетки.

Станины открытого типа позволяют осуществлять перевалку валков непосредственно краном при снятой крышке. Ста-

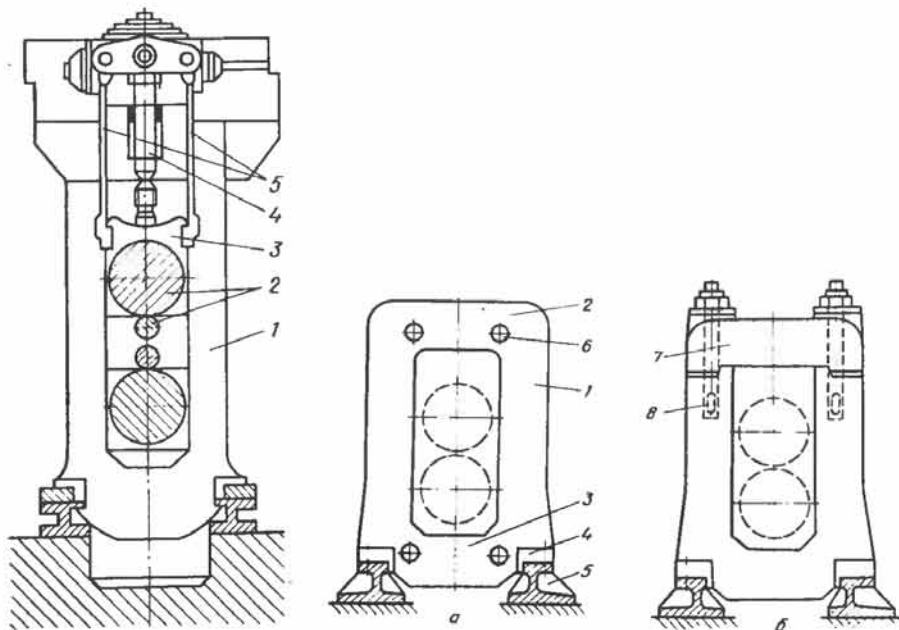


Рис.51. Рабочая клетка прокатного стана:

1 — станина; 2 — валки; 3 — подушки и подшипники; 4 — нажимной винт; 5 — уравнивающее устройство

Рис.52. Станины прокатных станов закрытого (а) и открытого типов (б):

1 — стойка; 2 — верхняя поперечина; 3 — нижняя поперечина; 4 — приливы станины с отверстиями; 5 — плитовина; 6 — отверстия для стяжных болтов; 7 — крышка станины открытого типа; 8 — болты крепления крышки

нины этого типа применяются в клетях сортовых и рельсобалочных станов линейного типа. Станина закрытого типа представляет собой литую жесткую раму. Она более прочна и жестка, и ее применяют в рабочих клетях блюмингов, слябингов, тонколистовых станов горячей и холодной прокатки, а иногда заготовочных и сортовых станов.

Сечение стоек станин обычно изготавливается двутавровым или прямоугольным. Усилия, возникающие при прокатке, главным образом воспринимаются станинами, поэтому при конструировании и изготовлении особое внимание уделяется их прочности и жесткости. Коэффициент запаса прочности принимается равным не менее 10. Станины изготавливаются из литой углеродистой стали с содержанием 0,25–0,35 % С. Размеры станины должны обеспечить размещение в окне станины подушек валков и конца нажимного винта требуемой

прочности и жесткости, возможность смены валков через окно станины. Последнее время на сортопрокатных и проволочных станах устанавливаются бесстанинные рабочие клетки. В таких клетях рабочие валки устанавливаются в подушках, которые стягиваются болтами.

Валки являются основным рабочим инструментом прокатного стана, в них непосредственно осуществляется деформация металла (рис. 53).

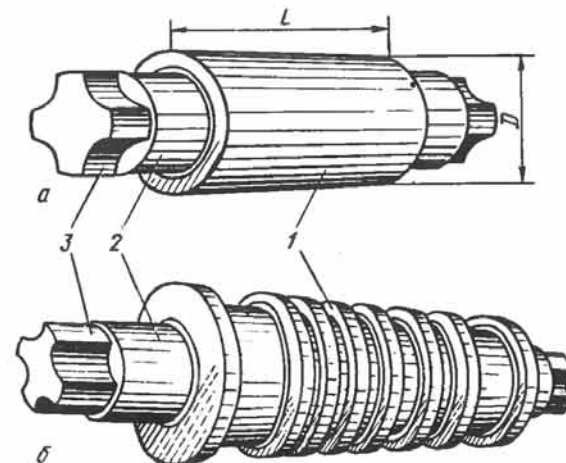


Рис.53. Прокатные валки:
а — с гладкой бочкой;
б — калиброванный; 1 — бочки валков; 2 — шейки; 3 — приводные или пере-
валочные концы

Затраты, связанные с эксплуатацией валков, составляют 5–15 % всех расходов по прокатному стану.

Прокатные валки классифицируют по назначению, форме бочки валка, конструкции, материалу. По назначению валки бывают сортовые и листовые, кантовальные, разрезные, правильные и т.д., валки для горячей и холодной прокатки, валки обжимные, черновые, предчистовые и чистовые. По форме бочки валки бывают гладкие или цилиндрические, с калибрами. По конструкции различают валки цельнолитые, цельнокованные и составные. По материалу валки бывают стальные, чугунные и из твердых сплавов.

Основными параметрами прокатного валка являются диаметр D и длина L бочки, которые определяют название сортовых и листовых станов.

Рабочий диаметр валков выбирают с учетом "естественного" угла захвата, т.е. без принудительного заталкивания

металла в валки и из условия прочности, а для тонколистовых станов и с учетом жесткости.

Значения диаметров и длины бочек валков определяются по ГОСТу.

Отношения L/D , которые обычно принимаются для клетей различного назначения, следующие:

Обжимной стан	2,2—2,7	Тонколистовой двухвал-	
Сортовой стан	1,6—2,5	ковый стан	1,5—2,2
Предварительно		Толстолистовой стан . . .	2,2—2,8
напряженная клеть . . .	0,5—1,5	Четырехвалковый стан:	
		рабочие валки	2,5—4,0
		опорные валки	1,3—2,5

В процессе эксплуатации валки изнашиваются. С целью продления периода эксплуатации валков их перетачивают, в результате чего диаметр их уменьшается и снижается их прочность.

Величина уменьшения диаметра валков при переточке зависит от прочностных свойств их и не должна превышать для станов, %:

Обжимных	10—12	Тонколистовых горячей	
Сортовых	8—10	прокатки	4—6
Толстолистовых	6—8	Тонколистовых холодной	
		прокатки	3—5

Параметры шеек валков (диаметр $d_{ш}$ и длина $l_{ш}$) выбираются исходя из условий прочности валков, мощности привода и других факторов. Для увеличения прочности стремятся изготавливать шейки валков большего диаметра, чтобы давление при прокатке распределить на большую площадь и тем самым уменьшить усилие на единицу поверхности. Диаметр шейки валков, имеющих подшипники скольжения открытого типа, устанавливается по условию прочности в зависимости от диаметра бочки валка:

для обжимных и сортовых станов $d_{ш} = (0,55—0,63)D$;
для листовых станов дуо и трио $d_{ш} = (0,7—0,75)D$.

Длину шейки обычно принимают равной ее диаметру, а диаметр концевых частей валков на 10—15 мм меньше диаметра шейки.

Материал валков должен обеспечивать возможность про-

катки в течение длительного времени без поломок и при минимальном износе поверхности.

Валки изготавливают из чугуна и сталей, легированных различными элементами (Cr, Ni, Mo и др.). Для обжимных и заготовочных станов, где валки испытывают большие динамические нагрузки и находятся в весьма тяжелых температурных условиях, применяются незакаленные валки — мягкие или полутвердые, изготавливаемые из незакаленной стали, серого или полужакаленного чугуна.

Для листовых и сортовых станов, валки которых должны быть прочны и отличаться высокой твердостью поверхности, применяют валки с мягкой сердцевиной, хорошо сопротивляющейся изгибу и твердой поверхности. Такие валки делают из закаленной стали или чугуна. Для холодной прокатки тонких листов и лент применяют и особотвердые валки из специальных марок сталей и сверхтвердые, изготавливаемые из твердых металлокерамических сплавов на основе карбида вольфрама.

Чугунные валки применяют во всех случаях, когда они обеспечивают необходимую прочность. Необходимую твердость бочки получают при отливке путем использования различных материалов для изготовления форм, в которые производится отливка. Валки высокой твердости изготавливают двухслойными: наружный слой из высоколегированного чугуна, а сердцевина — из чугуна более прочного при работе на изгиб, например, серого. Твердость валков может быть увеличена не только при отливке. Эффективным способом является поверхностная закалка.

Твердые чугунные валки отливают в металлические формы и на их поверхности образуется твердый отбеленный слой. Толщина отбеленного слоя определяет срок службы валка, т.е. допустимое число переточек, и составляет 15—60 мм, но не более $0,1 D$.

Стальные валки применяют в тех случаях, когда прочность чугунных валков недостаточна. Мягкие валки изготавливают из литой и кованой углеродистой стали с содержанием углерода 0,4—0,8%. Твердые и полутвердые валки изготавливают из легированной стали 60ХН, 50ХН, 60ХГН, 60ХГ, 9Х и др. Для получения высокой твердости применяют поверхностную закалку.

Валки для станов холодной прокатки, для которых требу-

ется высокая твердость поверхности бочки, изготавливают кованными из хромистой стали. Высокая твердость бочки обеспечивается индукционной закалкой токами промышленной частоты, при этом твердость поверхности шеек в 2–3 раза выше твердости бочки, глубина закаленного слоя должна быть не менее 3 % от радиуса валка, но не менее 5 мм. Для валков диаметром менее 300 мм применяют хромистую и хромованадиевую сталь марок 9Х и 9ХФ, а для валков диаметром более 300 мм — сталь с повышенным содержанием хрома марок 9Х2, 9Х2МФ, 9Х2В.

Кроме цельных чугунных и стальных листовых и сортовых валков, на прокатных станах применяются составные или бандажированные валки. Применение таких валков не только дает оптимальное соотношение механических свойств бочки и средней части валков, но и экономит легированную сталь, так как при большом износе его меняют только бандаж. На рис. 54 приведена конструкция бандажированного валка.

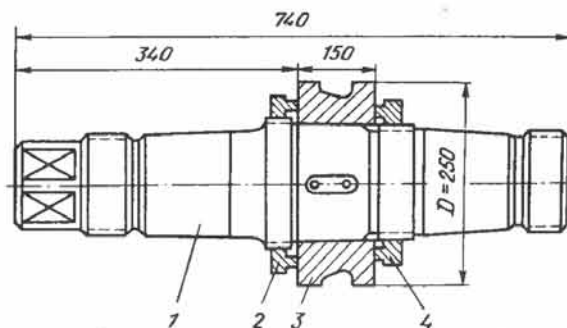


Рис. 54. Бандажированный валок стана 230:
1 — ось; 2 — съёмная гайка; 3 — калиброванный бандаж; 4 — зажимная гайка

Профилировка валков. Валки листопрокатных станов должны иметь бочку такой формы, чтобы при прокатке образовывалась межвалковая щель с параллельными сторонами, что обеспечивает получение высококачественного проката без поперечной разнотолщинности.

Для получения такого профиля полосы необходимо, чтобы форма бочек валков в любой точке на участке под полосой удовлетворяла уравнению

$$y = \Delta D + f + \Delta r + \Delta D_n, \quad (56)$$

где ΔD — величина увеличения диаметра валка в результате разности температур между серединой и краем бочки валка; f — разность между прогибом валка в середине и у края

листа; Δr — упругое сплющивание валка; ΔD_n — износ валка.

В настоящее время профилировка валков успешно осуществляется применением систем противоизгиба рабочих и опорных валков листопрокатных станов. В системах противоизгиба осуществляется принудительный изгиб валков с помощью гидромеханических устройств в плоскости, перпендикулярной плоскости прокатки (рис. 55). Как видно из рисунка, усилие противоизгиба может прикладываться между подушками рабочих валков (рис. 55, а), между подушками опорных и рабочих валков (рис. 55, б) или к удлиненным шейкам только опорных валков (рис. 55, в).

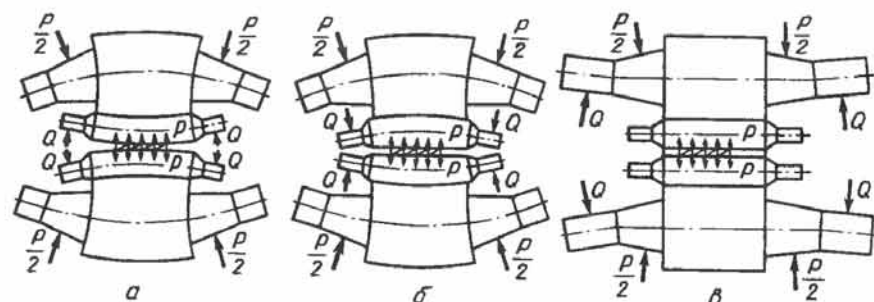


Рис. 55. Схемы противоизгиба валков четырехвалковых клетей

Калибры валков. При прокатке полупродукта и сортового проката применяются калиброванные валки, по окружности рабочих поверхностей которых вытачиваются специальные вырезы. Вырез на одном валке называется ручьем; два ручья, расположенные на двух валках один против другого, образуют калибр, который соответствует форме профиля прокатываемого в нем металла. Система последовательно расположенных калибров на валках (валке), обеспечивающая получение готового проката заданных размеров, называется калибровкой валков.

Рациональная калибровка должна обеспечивать необходимый по размерам профиль; хорошее качество проката; максимальную производительность стана; плавный и надежный захват металла валками; минимальный расход энергии; минимальный износ калибров; удобное обслуживание стана при прокатке и др.

Высота любого калибра складывается из глубины выреза в валках и зазора между валками (рис. 56). Величина зазора

определяется величиной упругой деформации валков и деталей клетки, температуры прокатки и т.д. Зазор принимается в зависимости от диаметра валков равным $(0,01-0,02) D$, что обычно составляет часть его высоты и является местом сопряжения ручьев. В закрытом калибре (см. рис. 59, б) зазор находится вне пределов калибра и не является местом сопряжения ручьев.

Боковые стенки в калибрах имеют наклон φ , который называется выпуском. Выпуск обеспечивает более плавный и легкий захват металла. Выпуск определяется разностью между шириной калибра у буртов B и шириной по дну калибра b . Наклон боковых стенок калибра относительно вертикали может достигать 20 %.

Углы калибров имеют закругления. В прямоугольных калибрах радиус закругления углов по дну калибра $r = (0,1 - 0,15)H$, а у буртов калибра радиус скругления углов обычно равен величине зазора между валками.

Калибры на валках располагаются с учетом основного размера — диаметра валков стана, который равен расстоянию между осями верхнего и нижнего валков (рис. 57):

$$D_0 = \frac{D_v + D_n}{2}, \quad (57)$$

где D_v , D_n — начальные диаметры верхнего и нижнего валков — диаметры воображаемых окружностей, соприкасающихся между собой.

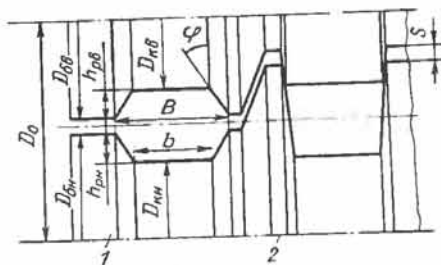


Рис. 56. Основные элементы калибра:
1 — крайний бурт; 2 — промежуточный ступенчатый бурт

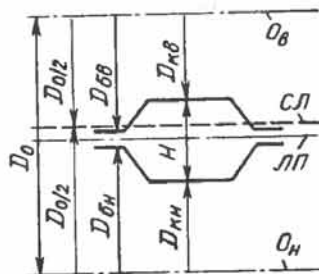


Рис. 57. Расположение калибров в валках:
 O_v и O_n — ось верхнего и нижнего валков; СЛ — средняя линия валков; ЛП — линия прокатки

В определении начального диаметра валков входит и величина зазора S :

$$\begin{aligned} D_v &= D_{\delta v} + S, \\ D_n &= D_{\delta n} + S, \end{aligned} \quad (58)$$

где $D_{\delta v} + S$, — диаметр верхнего и нижнего валков по буртам калибра.

Горизонтальная линия, делящая расстояние между осями валков пополам, называется *средней линией валков*.

Горизонтальная линия соприкосновения начальных диаметров валков называется *линией прокатки*. Обычно линия прокатки не совпадает со средней линией валков. В результате образуется *верхнее и нижнее давление*. Если верхний валок имеет больший диаметр, то $D_v - D_n = \Delta D_v$. В этом случае линия прокатки ниже средней линии валков — осуществляется верхнее давление. В случае $D_n - D_v = \Delta D_n$ линия прокатки выше средней линии валков — осуществляется нижнее давление. Только при равенстве диаметров валков, т.е. при отсутствии верхнего или нижнего давления, линия прокатки совпадает со средней линией валков. При наличии верхнего или нижнего давления при одинаковом числе оборотов прокатываемая полоса изгибается в сторону валка с меньшим диаметром (рис. 58). Это происходит по причине разности окружных скоростей валков, а значит, и разной линейной скорости выхода металла из валков, что приводит к изгибу металла в сторону валка большего диаметра. Нижнее давление применяют в основном на блюмингах и слябингах, чтобы предотвратить удар выходящего раската о ролики рольганга. На сортовых станах применяется верхнее давление. Это связано с тем, что раскат при этом прижимается к нижней проводке, а верхняя проводка при этом не нужна.

Размещение калибров по длине бочки валков l определяется формулой:

$$l = \Sigma B + 2b' + (n - 1)b, \quad (59)$$

где B — ширина калибра у разъема; b' — ширина крайних буртов, она равна $(1,5 + 2)b$; b — ширина промежуточных буртов; n — число калибров.

При выборе ширины буртов исходят из их прочности и возможности размещения вводной и выводной привалковой арматуры. Если в формуле (59) значение величины l будет

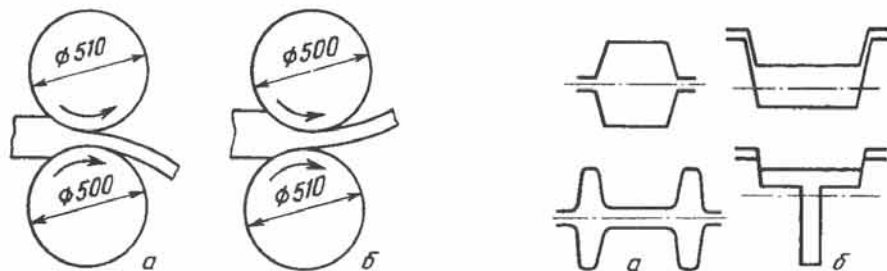


Рис.58. Прокатка с верхним (а) и нижним давлением (б)

Рис.59. Открытые (а) и закрытые (б) калибры:

а — ящичный и двутавровый; б — ящичный и тавровый

больше правой ее части, в этом случае на валке или размещаются дополнительные калибры, или увеличивают ширину буртов.

Размеры и допуски калибров несколько отличаются от размеров и допусков прокатываемых профилей, что объясняется различием коэффициентов линейного расширения прокатываемого металла и валков. С целью получения номинальных размеров прокатываемых профилей следует иметь калибры несколько больших размеров. Так, размеры чистовых калибров для горячей прокатки стальных профилей должны быть в 1,010—1,015 раза больше размеров готовых профилей. Калибры классифицируют по способу вреза в валках, по их форме и по назначению. Врезанные в валках калибры по способу вреза делятся на *открытые* и *закрытые*. Открытые калибры образуются врезами двух валков (рис. 59, а), при этом зазор между бочками валков находится в пределах калибра. Закрытые калибры образуются врезом на одном валке и выступом на другом, линия зазора при этом находится вне калибра (рис. 58, б). По форме различают калибры *простые*: ящичные, квадратные, ромбические, овальные, круглые (рис. 60, а) и *фасонные*: балочные, швеллерные, угловые, тавровые и другие профили (рис. 60, б). Простые профили прокатываются в открытых калибрах, фасонные — в открытых и закрытых. По назначению калибры делятся на *обжимные*, *черновые*, *предчистовые* и *чистовые*. Обжимные калибры предназначены для уменьшения сечения прокатываемого металла и служат для получения заготовок сортопрокатных станов. Валки с обжимными калибрами устанавливаются на блюмингах и заготовочных станах, а также на обжимных клетях сорто-

вых станов. В обжимных калибрах прокатку ведут с максимально возможными обжатиями и вытяжками.

Для последующей обработки заготовки при прокатке сортовой стали используют черновые калибры, которые располагают в черновых клетях. В этих калибрах с уменьшением площади изменяется и форма поперечного сечения прокатываемого металла, приближаясь к готовому профилю. Предчистовые калибры применяют для предпоследнего прохода прокатываемого металла, получая при этом раскат необходимых размеров и формы для прокатки в чистовых калибрах. Калибры, в которых прокатываемый металл получает окончательные формы и размеры, называются чистовыми. Одним из важных моментов калибровки прокатных валков является распределение обжатий по проходам. Чем выше обжатие, тем меньше требуется проходов для получения прокатного изделия, тем выше производительность стана. Обжатия по проходам распределяют исходя из установленных для данных калибров средней вытяжки $\mu_{ср}$ и суммарной вытяжки μ . Вытяжка металла распределяется по проходам следующим образом: стремятся к максимальной в первых проходах и ограничиваются в последних. Причинами ограничения являются снижение температуры прокатки металла и, значит, повышение усилий прокатки на валки, а также необходимость получения точных размеров проката.

Величины вытяжек для различных станов следующие:

Прокатываемые изделия	Калибры	Значения вытяжек	Прокатываемые изделия	Калибры	Значения вытяжек
Блюмы и заготовки	Ящичные, гладкая бочка	1,10—1,30	Фасонные профили (двутавровые, тавровые, швеллер, уголки и т.д.)	Обжимные	1,25—1,85
				Черновые	1,20—1,40
	Чистовые	1,13—1,15	Простые профили (квадрат, круг и др.)	Чистовые	1,12—1,20
				Предчистовые	1,15—1,20
				Квадратные	1,20—1,80
				Ромбические	1,25—1,60

Валки прокатных станов работают в условиях непрерывного истирания деформируемым ими металлом, больших динамических нагрузок и резко меняющихся температур. В результате в процессе эксплуатации валки изнашиваются. В валках сортопрокатных станов изнашиваются калибры, вследствие

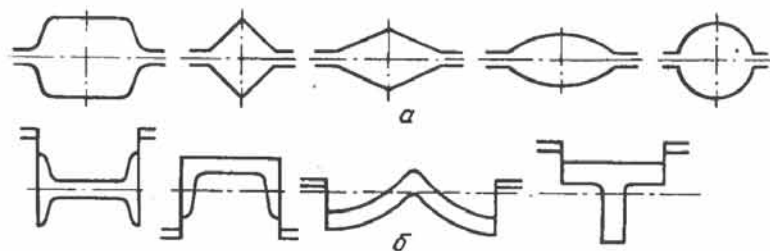


Рис. 60. Формы простых (а) и фасонных (б) калибров

чего нарушается расчетный режим обжатия и ухудшается качество поверхности проката. Поэтому выработанные валки подвергают переточке или перешлифовке на специальных вальцетокарных или вальцешлифовальных станках.

Число переточек сортовых валков зависит от типа прокатного стана, качества валков и условий их эксплуатации и колеблется от 3 до 9. В результате переточек их максимальный диаметр $D_{\max}$ доводится до минимального $D_{\min}$. Допустимая величина переточки определяется допустимым коэффициентом переточки

$$k = (D_{\max} - D_{\min}) / D_n, \quad (60)$$

где D_n — номинальный диаметр валка.

Допустимый коэффициент переточки составляет 0,10–0,16, 0,08–0,10 и 0,05–0,08 соответственно для обжимных, сортовых и проволочных станов. Для валков листовых станов износ неравномерен по длине бочки. Наибольший износ приходится на области, соответствующие краям прокатываемых полос. Перешлифовку валков холодной прокатки листов осуществляют, стараясь съём металла свести к минимуму, чтобы уменьшить расход активного слоя. Съём металла на рабочих валках составляет 0,05–0,1 мм и на опорных валках 1–3 мм.

Перевалка валков. Исходя из условий работы валков, сортамента прокатной продукции, степени их износа осуществляют смену валков прокатного стана. Этот процесс называется перевалкой. Длительность работы валков между двумя перевалками на различных станах неодинакова. На обжимных и заготовочных станах перевалка производится раз в два месяца, как правило, в дни ремонта. На листовых ста-

нах горячей и холодной прокатки перевалку валков производят 3–6 раз в 1 сут. Перевалка связана с остановкой прокатного стана, т.е. со снижением его производительности. Для сокращения простоев предусматривают специальные устройства, механизмирующие перевалку и сокращающие простой. Длительность перевалки рабочих валков станов холодной прокатки составляет 10–15 мин. Перевалка валков обжимных станов длится несколько часов. В станинах открытого типа перевалку осуществляют краном после снятия верхней поперечины. Для некоторых сортовых станов изготавливают двойной комплект клетей. В то время как работа идет на одной клети, другая с новыми валками монтируется на стенде. У большинства прокатных станов используются станины закрытого типа и замена валков производится через боковые проемы станин. Перевалка валков на относительно старых станах осуществляется с помощью муфты, валка-противовеса и мостового крана (рис. 61). Этот способ перевалки длительный. Муфта с валком надевается на торец валка, подлежащий замене. Затем вся система поднимается при помощи крана, и после уравнивания валка он выводится из станины перемещением крановой тележки. Кроме того, на старых станах осуществляется перевалка при помощи специальной скобы (рис. 62).

На современных станах рабочие валки меняются с помощью специальной тележки, перемещающейся по рельсам против рабочей клетки (рис. 63). Комплект рабочих валков извлекается из клетки на платформу, которая на своих катках передвигается поперек тележки. Новая пара валков, ранее установленная на платформе, совмещается с осью рабочей клетки и вводится в окно станины. После окончания перевалки тележка отводится от клетки и валки убираются краном. Весь процесс перевалки длится 5–7 мин. Для станов кварто предусматривается раздельная замена рабочих и опорных валков, так как смена рабочих валков осуществляется значительно чаще. Смена опорных валков осуществляется 1–2 раза в 1 мес.

Подшипники. Валки прокатных станов устанавливаются в подшипниках, которые размещаются на шейках прокатных валков. Через подшипники передаются усилия, возникающие при прокатке, от валков на станину. Также подшипники удерживают валки в заданном положении. В настоящее время ис-

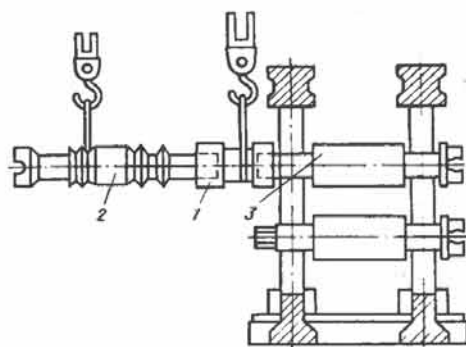


Рис.61. Схема перевалки валков с помощью валка противовеса:
1 — муфта; 2 — заменяемый валок;
3 — валок-противовес

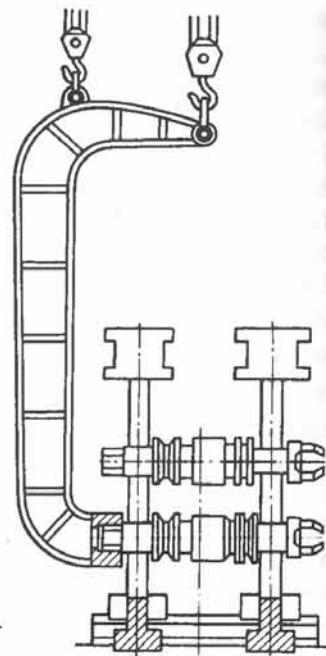


Рис.62. Схема перевалки валков специальной скобой

пользуют открытые подшипники скольжения; подшипники жидкостного трения; подшипники качения.

Открытые подшипники скольжения изготавливаются в виде вкладышей, устанавливаются в подушках опорных узлов (рис. 64).

Открытые подшипники с неметаллическими вкладышами применяют на обжимных, заготовочных, сортовых, рельсобалочных и сортовых станах. Они обеспечивают достаточную грузоподъемность, просты в изготовлении, имеют низкий коэффициент трения, дешевы в эксплуатации. Вкладыш изготавливают из текстолита, лигнофоля или лигностона. Неметаллические вкладыши обладают малой теплопроводностью, поэтому их охлаждают водой, а при высоких скоростях применяют внутреннее охлаждение путем обильной подачи воды на шейку валка. Стойкость неметаллических вкладышей увеличивают путем применения закаленной поверхности шеек и за счет врезания в тело вкладыша продольных вставок из баббита. Для уменьшения износа подшипников применяют электрохимическую защиту шеек валка от коррозии.

Подшипники жидкостного трения (ПЖТ) относятся к закрытым подшипникам скольжения. ПЖТ широко применяются на со-

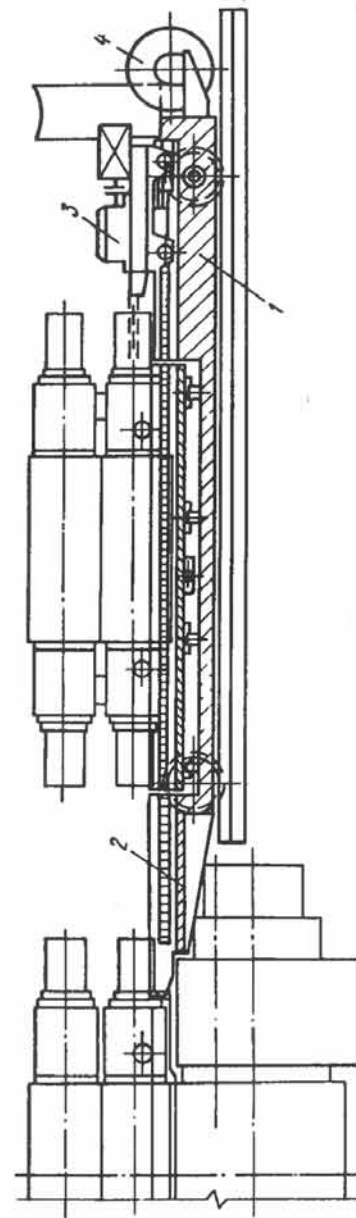


Рис. 63. Схема перевалки валков четырехвалкового стана 2000 с помощью специальной тележки:
1 — специальная тележка; 2 — направляющие; 3 — каретка; 4 — кабельный барабан

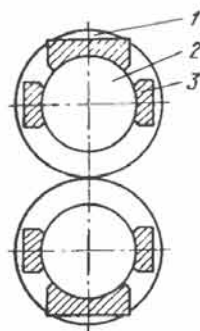
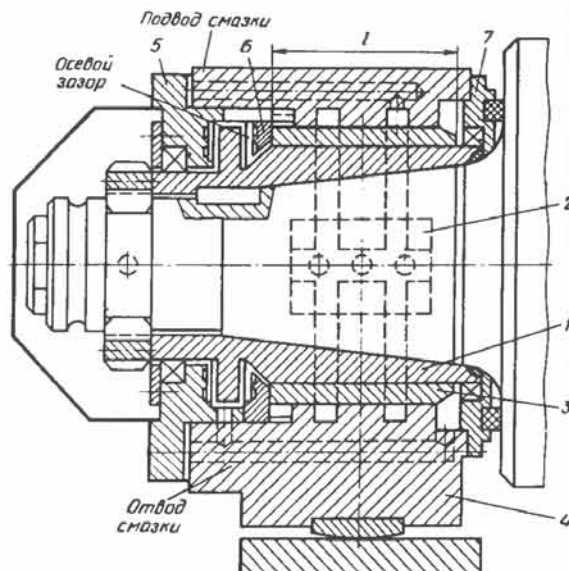


Рис.64. Схема подшипника скольжения:

1 — валок; 2 — шейка валков; 3 — вкладыши

Рис.65. Схема подшипника жидкостного трения:

1 — втулка-цапфа; 2 — шейка валка; 3 — втулка-вкладыш; 4 — подушка; 5, 7 — крышка; 6 — кольцо



временных прокатных станах (рис. 65). Особенностью подшипников является то, что при больших давлениях и любых скоростях вращения между телом шейки валка и материалом подшипника всегда сохраняется масляная пленка, благодаря чему шейка "плавает" в подшипнике.

Жидкостное трение обеспечивается в основном за счет тщательной обработки поверхностей трения и совершенно закрытой конструкции подшипника. Подшипники имеют низкий коэффициент трения (0,001–0,008), что приводит практически к отсутствию трения.

К достоинствам ПЖТ следует отнести способность воспринимать большие усилия, возможность создания лучшего теплового режима валков за счет охлаждающего воздействия масла на шейку валка. Подшипники качения широко применяются в листовых четырехвалковых станах горячей и холодной прокатки, а также в тонколистовых двухвалковых, заготовочных и сортовых станах. На прокатных станах в качестве

подшипников трения используют в основном роликовые подшипники качения.

Применяют преимущественно подшипники с коническими и цилиндрическими роликами. Основными достоинствами подшипников качения являются низкий коэффициент трения, высокая износостойкость (рис. 66).

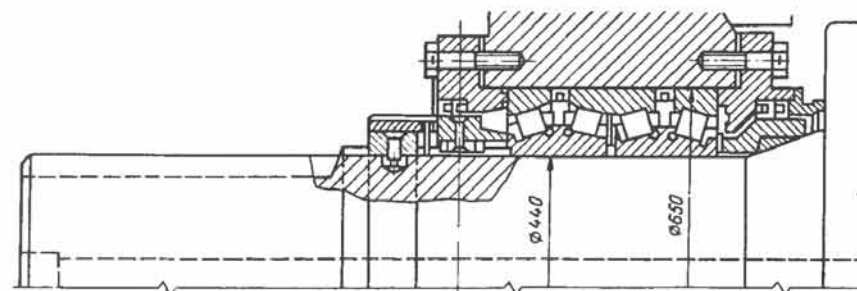


Рис.66. Схема подшипника качения

Подушки. Подшипники прокатных станов размещаются в подушках, представляющих собой специальные стальные отливки. Подушки предназначены для сохранения точного положения валков и передачи усилия прокатки от валков к станине рабочей клетки. Они перемещаются по направляющим, прикрепленным к станинам. Для предотвращения перемещения подушек в направлении горизонтальных осей валков применяются регулирующие планки и зажимы, которые скользят в пазах подушки и станины. Чтобы скомпенсировать термическое расширение валков подушки закрепляют только со стороны, противоположной приводу, что позволяет им несколько перемещаться в осевом направлении.

Механизм вертикальной и осевой установки валков. В процессе прокатки валки должны занимать определенное положение в рабочей клетки. С этой целью используются механизмы вертикальной и осевой установки валков. Установочные механизмы представляют собой совокупность нажимного и уравнивающего механизмов. Нажимной механизм выполняет перемещение, а уравнивающий механизм предназначен для выбора зазоров в системе нажимной механизм—подушки верхнего валка с целью исключения ударов. Установочные механизмы обеспечивают возможность отдельной регулировки положения каждой подушки валка. На всех листовых, полосовых и обжимных станах положение нижнего валка

с подушками и подшипниками в рабочей клетки постоянно. Поэтому раствор между валками регулируется перемещением только верхнего валка при помощи нажимного механизма.

Положение валков при прокатке на сортовых двух- и трехвалковых станах не изменяется, необходимое расстояние между ними, которое определяется калибровкой валков, устанавливается при настройке стана, заранее.

На станах, где положение верхнего валка должно изменяться после каждого прохода металла через валки (блужинги, слябинги и т.д.), это перемещение происходит во время пауз между проходами.

Скорости перемещения верхнего валка, применяемые на практике на различных станах, показаны ниже:

Прокатный стан	Скорость перемещения, мм/с	Прокатный стан	Скорость перемещения, мм/с
Блужинг	100—200	Сортовой, двух- и	
Слябинг	100—150	трехвалковый . . .	2—5
Толстолистовой . . .	5—25	Тонколистовые че-	
		тырехвалковые . .	0,05—1,0

На блужингах, слябингах и тонколистовых станах перемещение верхнего валка происходит после каждого прохода металла через валки, поэтому с целью сокращения паузы применяют быстроходные *нажимные механизмы* с приводом от вертикальных фланцевых электродвигателей через цилиндрические шестерни.

Нажимные винты. На толстолистовых, тонколистовых и полосовых четырехвалковых станах горячей и холодной прокатки, где скорость перемещения валков невелика, применяются тихоходные нажимные механизмы с приводом от электродвигателя через глобоидные червячные передачи (рис. 67). Привод нажимных винтов осуществляется от двух электродвигателей, которые установлены на одной оси и соединены между собой электромагнитной муфтой. Вращение к нажимным винтам осуществляется от двух электродвигателей, которые установлены на одной оси и соединены между собой электромагнитной муфтой. Вращение к нажимным винтам передается через коническую шестеренную передачу и редуктор.

В последнее время на листовых и обжимных станах применяются гидравлические и комбинированные (гидромеханические) нажимные устройства, которые обладают значительно

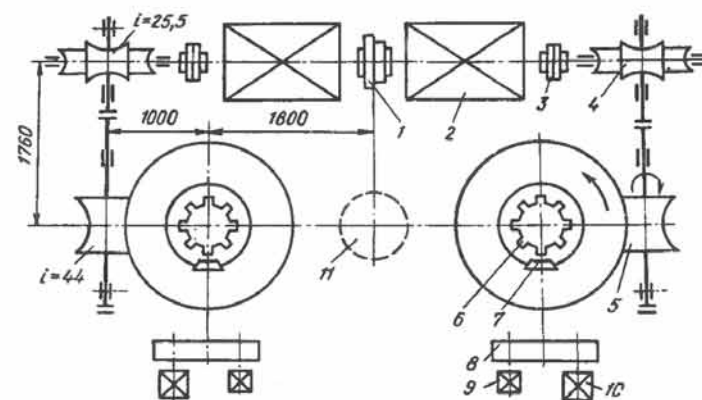


Рис.67. Кинематическая схема тихоходного нажимного механизма четырехвалкового стана 2500:

1 — муфта; 2 — электродвигатель; 3 — зубчатая муфта; 4, 5 — червячные глобоидные редукторы; 6 — нажимной винт; 7 — коническая шестеренная передача; 8 — редуктор; 9 — сельсин-датчик; 10 — командоаппарат; 11 — гидроцилиндр уравнивания валков

меньшей инерционностью и имеют высокую точность установки и способность воспринимать большие усилия прокатки.

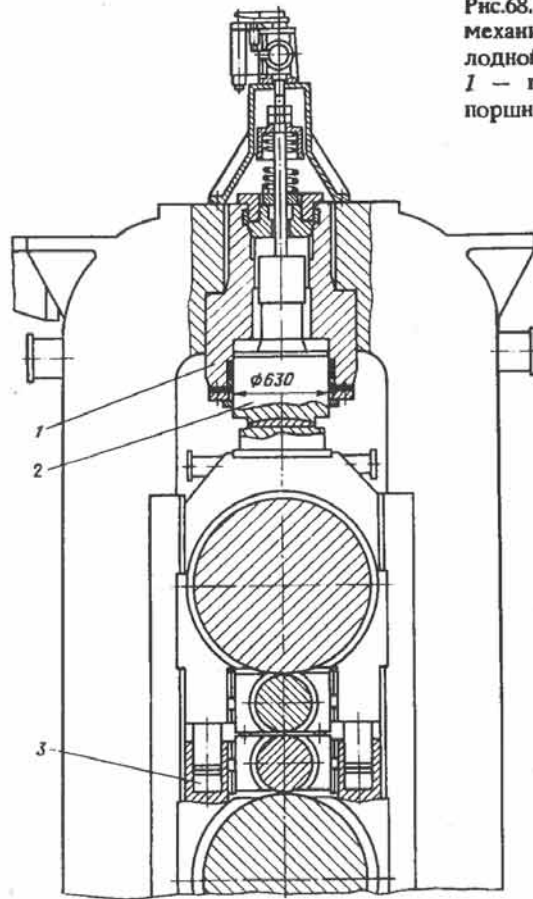
В гидравлических нажимных устройствах (рис. 68) усилие прокатки воспринимают гидравлические цилиндры, под поршни которых подается рабочая жидкость (масло) под постоянным давлением, поэтому перед прокаткой валки прижаты друг к другу с постоянным усилием. Гидравлическими цилиндрами, по 4 с каждой стороны валка, регулируются межвалковый зазор и усилия предварительного нагружения.

В комбинированных устройствах грубое регулирование производится электромеханическим устройством, а тонкое — гидравлическим. Нажимной винт, усилие, воспринимаемое на одну шейку валка при прокатке, передает через нажимную гайку станине. Для лучшей самоустановки подушки с подшипником по оси нажимного винта пята нажимного винта выполняется сферической формы.

Уравнивающее устройство. Для уравнивания верхнего валка применяют грузовое, пружинное и гидравлическое устройства.

Грузовое уравнивание (рис. 69) применяют при перемещении верхнего валка на большую высоту (до 2000 мм на блужингах и слябингах). Верхний валок и его подушки уравниваются двумя контргрузами, находящимися под клетью.

Рис.68. Гидравлический нажимной механизм четырехвалкового стана холодной прокатки листа:
1 — гидравлические цилиндры; 2 — поршни; 3 — гидроцилиндр



Вертикальные штанги проходят в пазах нижней части станины и упираются пятнами в траверсу, шарнирно подвешенную к коротким плечам грузовых рычагов. На длинных плечах этих рычагов установлены контргрузы. При смене валков верхний валок опускают до соприкосновения с нижним, а подвешивая грузы на специальных рычагах, исключают действие уравнивающего устройства.

Пружинное уравнивающее устройство применяется на заготовочных, сортовых, проволочных, листовых двух- и трехвалковых и ленточных четырехвалковых станах, там где перемещение валков и масса уравнишиваемых деталей невелики. Верхний валок клетки 530 непрерывного заготовочного стана 700/500 (рис. 70) уравнивается при помощи четы-

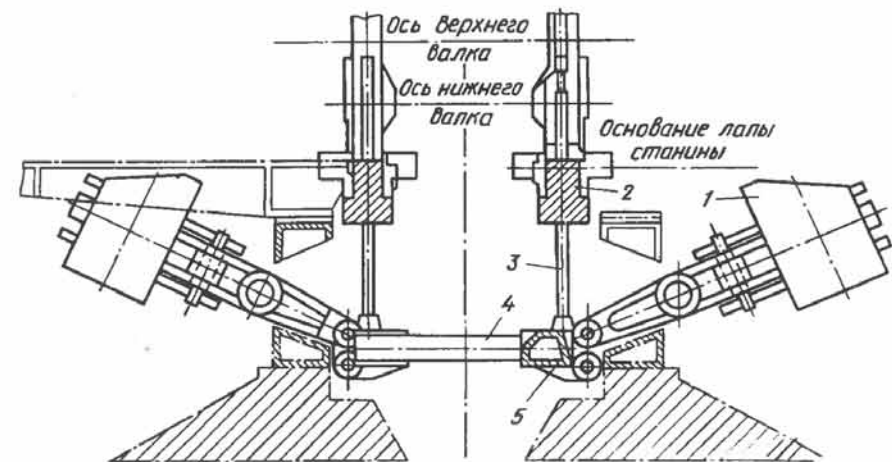


Рис.69. Грузовое уравнивание верхнего валка блюминга: 1 — контргруз; 2 — клеть; 3 — вертикальные штанги; 4 — траверса; 5 — грузовые рычаги

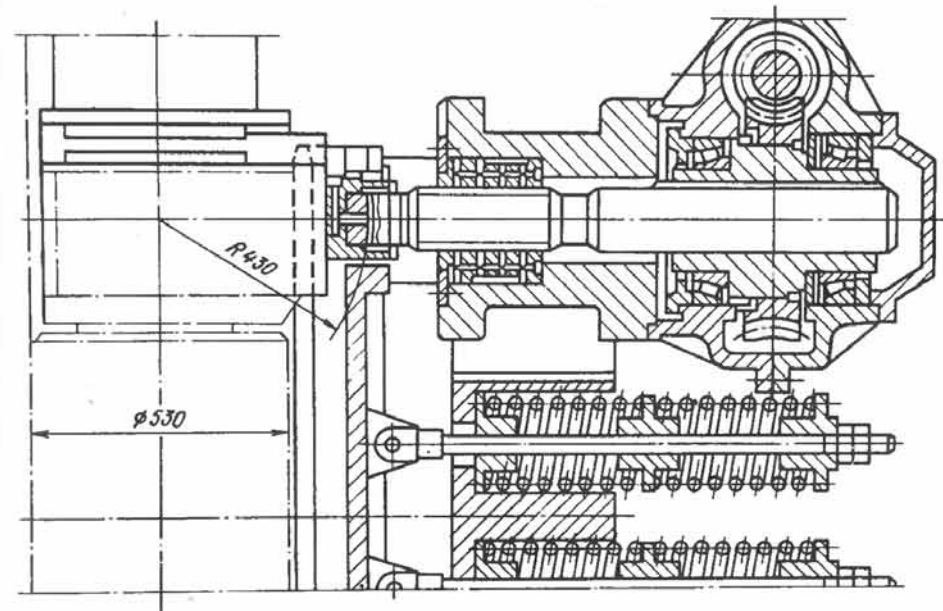


Рис.70. Пружинное уравнивание верхнего валка клетки 530 непрерывного заготовочного стана 700/500

рех пружин, опирающихся на траверсу, соединяющую сверху две станины. Пружинам сообщается предварительная затяжка с помощью гаек, предусмотренных на концах двух тяг. К концам этих тяг шарнирно прикреплена траверса, соединяющаяся с подушками верхнего валка. При верхнем положении валка пружины поджаты настолько, что обеспечивают плотное поджатие подушек к торцам нажимных винтов.

В клетях современных обжимных и листовых прокатных станов осуществляется гидравлическое уравнивание. На рис. 71 показано устройство гидравлического уравнивания верхнего опорного валка четырехвалкового стана 2500.

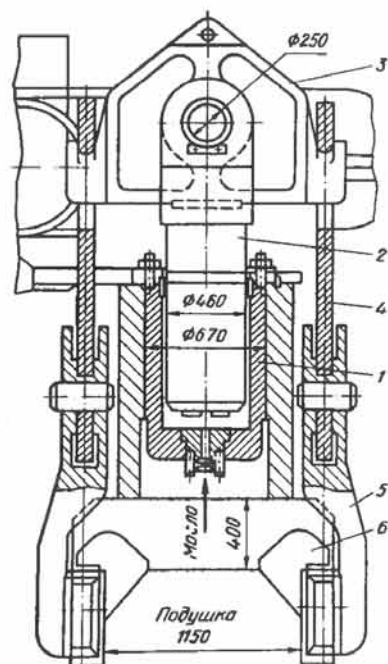


Рис.71. Устройство гидравлического уравнивания верхнего опорного валка четырехвалковой клетки 2500: 1 — гидравлический цилиндр; 2 — плунжер; 3 — траверса; 4 — тяга; 5 — поперечная балка; 6 — Г-образные приливы

При уравнивании верхнего опорного валка верхний рабочий валок уравнивается самостоятельными гидравлическими плунжерами, расположенными в подушках нижнего рабочего валка.

Осевая установка валков применяется для совмещения осей калибров валков при настройке сортового стана.

На непрерывных сортовых станах для осевой установки валков используют рычажное устройство (рис. 72). При вращении гайки резьбовые тяги с левой и правой резьбами раз-

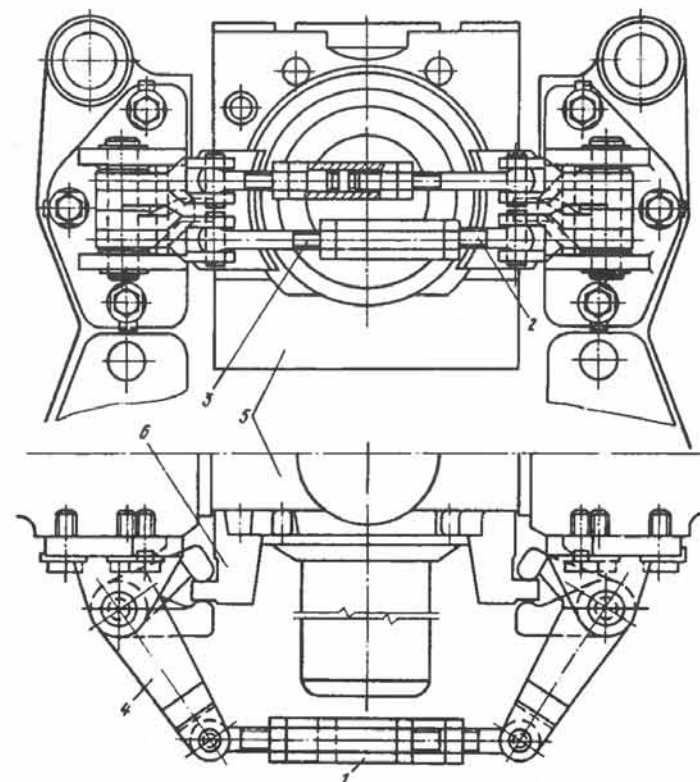


Рис.72. Схема рычажного устройства осевой установки валков: 1 — гайка; 2, 3 — резьбовые тяги; 4 — рычаг; 5 — подушка; 6 — заплечик подушки

двигаются или смыкаются и поворачиваются рычаги, которые удерживают подушку за заплечики и перемещают ее в требуемом направлении. Предел регулирования валка в осевом направлении ± 10 мм. Устройство для осевой регулировки валка спаренное: одно предназначено для смещения валка в одном направлении, другое — в обратном. Осевая регулировка валков осуществляется на стенде при настройке клетки, а также в линии прокатки.

На листопрокатных станах нет надобности в осевой регулировке, а необходима только осевая фиксация валков, которую осуществляют или с помощью планок, или с помощью откидных щеколд.

Перед началом работы прокатного стана персоналом цеха осуществляется его настройка. Порядок проведения настройки станом регламентируется инструкциями, действующими в цехе. Настройку стана проводят после перевалки, в процессе прокатки, если профиль получается неправильным, и при необходимости в процессе профилактического осмотра при приемке смены.

При прокатке сортовых профилей настройка стана сводится в основном к установке валков в вертикальной и горизонтальной плоскостях и к правильной установке валковой арматуры.

В горизонтальной плоскости положение валков проверяют уровнем, а в вертикальной отвесом по тrefам или бочкам валков. Горизонтальность валков двухвалковых станом проверяют по нижним валкам, а трехвалковых по средним. Положение нижнего валка всегда увязывают с уровнем роликов рабочего роляганга.

Правильность установки валков проверяют мерительными инструментами по зазорам между буртами и шаблонами. При значительном сдвиге в осевом направлении возможно кручение полосы, серповидный выход ее из валков, смещение частей профиля.

Определение взаимного положения валков отдельных клеток и двигателя называется коренной настройкой стана. Если на одной линии стана находится несколько клеток, то валок подбирают так, чтобы наибольший перекося шпинделя не превышал $4-4,5^\circ$. Предельно допустимая разность диаметров валков в соседних клетках одной линии должна быть не более 5% от валка большего диаметра.

Для обеспечения качественной настройки стана и получения точного профиля наиболее пригодными являются подшипники роликовые и жидкостного трения, применяемые в современных непрерывных станах.

Каждая рабочая клетка с обеих сторон оборудована специальной валковой арматурой, установленной вблизи прокатных валков. Горизонтальное положение бруса проверяют уровнем. Вводные и выводные линейки устанавливают симметрично по отношению к калибру. Величина зазора между линейками должна обеспечить нормальное движение полосы к

валкам и не допускать сваливания ее при задаче в калибр. Расстояние между линейками определяется шириной полосы.

Коробку на брус устанавливают по уровню, а пропуски — в коробке строго вертикально. Чтобы не допустить сваливания и обеспечить жесткое положение раската, пропуски в коробке должны стоять устойчиво и сжимать полосу достаточно плотно. Подвижность пропуска обеспечивается с помощью выдвижного клина и винта. Положение пропусков в коробке должно быть симметричным по отношению к буртам калибра.

Неправильная установка бруса, коробки или пропусков часто является источником возникновения ряда дефектов профиля.

Важное значение для нормальной работы стана имеют проводки, которые обеспечивают необходимое направление раската в вертикальной плоскости, предохраняют валки от окова полосой. Особое внимание следует уделять подвесным проводкам, устанавливаемым в закрытых частях калибров. Чрезвычайно длинные или чрезвычайно короткие проводки могут служить причиной неполадок и аварий на стане. Основной причиной выхода из строя направляющих проводок является износ носка.

К числу быстроизнашивающихся деталей прокатного стана относятся муфты и шпиндели; их износ допускается до известного предела.

Особое внимание должно быть уделено состоянию крепежных и опорных деталей клетки, а также положению установочных боковых болтов. Ослабление боковых болтов может привести к осевому сдвигу валков и связанному с этим возникновению дефектов профиля.

Основные положения настройки станом других специализаций приведены выше.

В начале прокатки отбирают пробы от первых полос, проверяют размеры и осматривают состояние поверхности. При отступлении полученных размеров от требуемых производят корректировку в настройке стана. Далее пробы отбирают периодически.

2. Агрегаты и механизмы поточных технологических линий прокатных цехов

Вспомогательное оборудование — агрегаты и механизмы поточных технологических линий прокатных цехов подразделяют на две основные группы: транспортную, выполняющую операции по перемещению металла, подаче его к рабочим клетям и его кантовку, и обрабатывающую, работа которой связана с операциями по отделке проката.

К транспортной группе агрегатов и механизмов относятся слитковозы, рольганги, холодильники, манипуляторы, кантователи, поворотные и подъемные механизмы. К обрабатывающей группе агрегатов и механизмов относятся ножницы, пилы, правильные механизмы и прессы, моталки, разматыватели и др.

Агрегаты и механизмы поточных технологических линий прокатных цехов весьма разнообразны, а общая масса их значительно превышает массу основного оборудования.

Агрегаты и механизмы для транспортировки и кантовки металла

Слитковозы. В настоящее время на обжимных станах приняты две схемы подачи слитков: челночная и кольцевая. На современных станах осуществляется кольцевая слиткоподача, дающая возможность обеспечить высокую его производительность, составляющую 5–6 млн. т и более в год годного проката. Кольцевая слиткоподача называется так потому, что движение слитковозов осуществляется по замкнутому кольцу (рис. 73).

Слитковоз представляет собой самоходную тележку с горизонтальной сварной платформой (рис. 74). Платформа слитковоза опирается на два ската, четыре ходовых колеса. Задний скат приводится от расположенного под платформой электродвигателя постоянного тока. На прямых участках пути слитковоз может двигаться со скоростью до 5,4 м/с. При приближении к закругленному участку пути скорость движения снижается до 1,5–2,0 м/с, а на прямом скорость повышается. При подходе к приемному столу слитковоз останавливается. Простота конструкции, надежность в эксплуатации, небольшая масса (26,5 т), небольшой расход энергии на передвижение, возможность укладки слитка на платформу

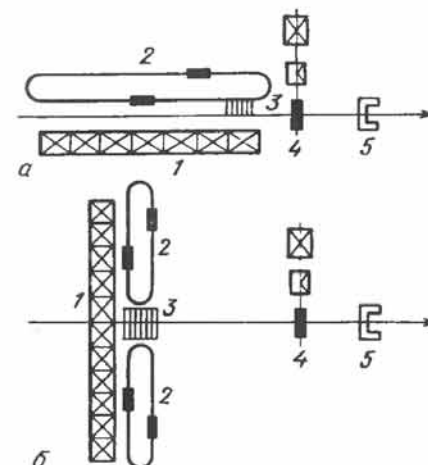


Рис. 73. Варианты кольцевой слиткоподачи:

а — при продольном расположении нагревательных колодцев; б — при поперечном расположении нагревательных колодцев; 1 — нагревательные колодцы; 2 — слитковозы; 3 — приемные столы слитков; 4 — клеть блюминга; 5 — ножницы

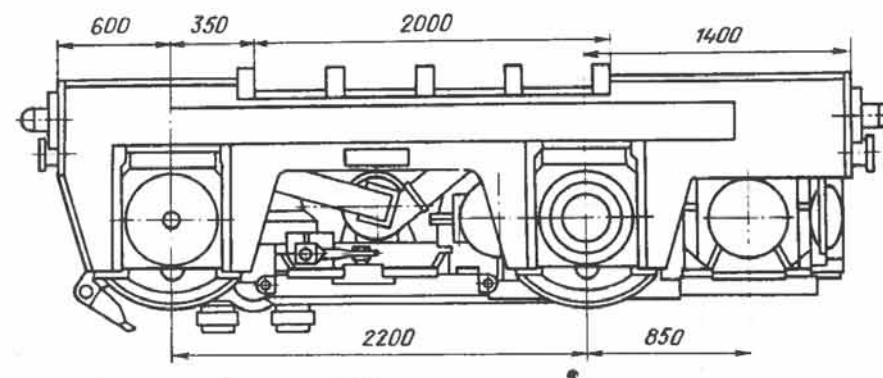


Рис. 74. Слитковоз блюминга 1300

в горизонтальном положении являются достоинством слитковоза.

Рольганги. Рольганги предназначены для транспортирования металла к прокатному стану, задачи металла в валки, приема его из валков и передвижения к ножницам, пилам, правильным и другим устройствам и механизмам. Общая длина рольгангов довольно значительна, а масса их иногда достигает 20–30 % от массы механического оборудования всего прокатного цеха.

Рольганг представляет собой систему роликов, установленную на раму. Привод роликов осуществляется от электродвигателей. При вращении роликов прокат, уложенный на рольганг, получает продольное перемещение за счет сил трения.

По своему назначению рольганги разделяют на рабочие и транспортные. Рабочие рольганги расположены непосредственно у рабочей клетки стана и служат для задачи прокатаемого металла в валки и приема его из валков. Все остальные рольганги называют транспортными.

По способу привода роликов рольганги бывают с групповым и индивидуальным приводом и с холостыми роликами. Групповой привод применяется редко и только для рольгангов, работающих в тяжелых условиях. При индивидуальном приводе каждый ролик приводится от отдельного электродвигателя. Такая конструкция проще в изготовлении и эксплуатации. Рольганги с холостыми роликами применяют как транспортные. Их располагают с небольшим уклоном к горизонтали и перемещение металла происходит под действием собственного веса металла. Эти рольганги называют гравитационными. Ролики изготавливают цельноковаными, литыми или из труб.

Основными параметрами рольгангов являются: диаметр роликов d , длина бочки роликов и шаг между роликами.

Рабочий рольганг блюминга 1300 (рис. 75) состоит из восьми роликов 1–8. Ролики 1, 2 имеют индивидуальный привод от электродвигателей постоянного тока, максимальная окружная скорость роликов равна 3,9 м/с. Остальные шесть роликов имеют групповой привод, окружная скорость роликов 3,1 м/с. Транспортные рольганги обжимных станов снабжены групповым приводом. Они отличаются облегченной конструкцией, так как они транспортируют длинный раскат (блюм, сляб) и нагрузка, приходящаяся на один ролик, меньше.

Холодильники. Холодильники являются связующим звеном между прокатным станом и агрегатами для отделки проката. Удельная масса холодильника в общей массе оборудования прокатного цеха значительна и составляет от 35 до 50 %. На холодильнике осуществляется прием прокатанного металла, его охлаждение, передача на отводящий рольганг, транспортирование металла к отделочным агрегатам.

Для охлаждения прокатанного металла на сортопрокатных станах применяются реечные и роликовые холодильники.

Реечные холодильники получили наибольшее распространение и бывают одно- и двусторонние: по числу одновременно принимаемых ниток прокатанного металла. На реечном холо-

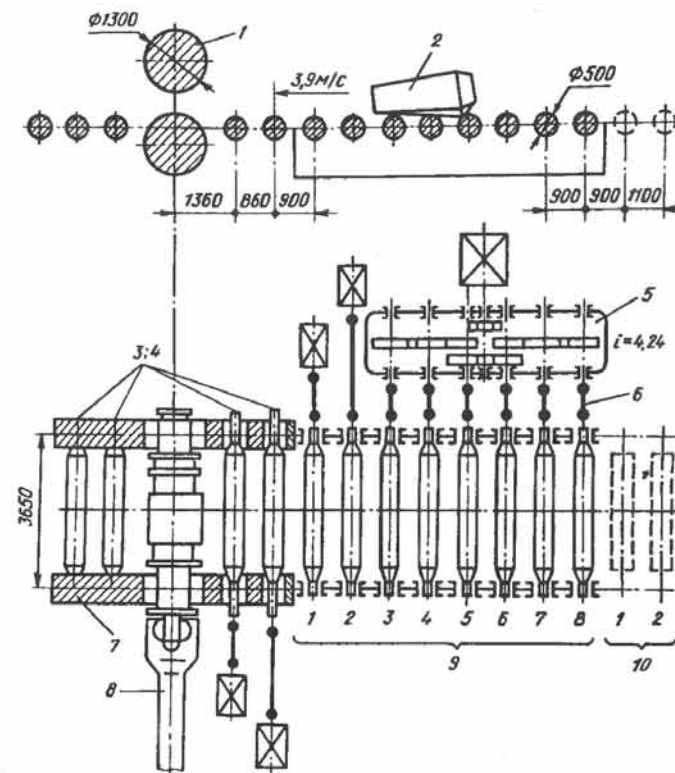


Рис. 75. Рабочий рольганг блюминга 1300:

1 — прокатные валки; 2 — слиток; 3, 4 — станинные ролики; 5 — редуктор; 6 — зубчатые шпиндели; 7 — станины рабочей клетки; 8 — универсальные шпиндели; 9 — рабочий рольганг; 10 — раскатной рольганг

дильнике охлаждение полос происходит на подвижных зубчатых рейках, совершающих качательно-поступательное движение. Важным достоинством этих холодильников является возможность правки прокатанного металла в процессе охлаждения.

Прокатанный металл, поступая по рольгангу (рис. 76), при одновременном подъеме клапанов, сбрасывается на гребенку, которая расположена рядом с роликами рольганга по всей длине холодильника. С гребенок прокатанный металл забирается системой "шагающих" реек и перекладывается на неподвижные рейки. Дальнейшее продвижение металла осуществляется в результате качания реек. При перемещении по холодильнику металл охлаждается до 80–120 °С, передается на отводящий рольганг, ведущий к ножницам для холодной

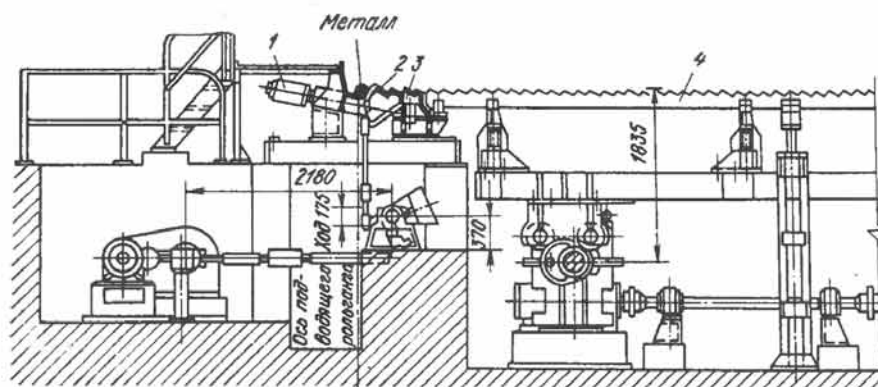


Рис.76. Схема режущего холодильника мелкосортового стана 250:
1 — ролик подводящего рольганга; 2 — клапаны для подъема и опускания прокатанного металла; 3 — гребенка; 4 — подвижные и неподвижные рейки

резки на мерные длины. Длина холодильника составляет 125 м, ширина — 16 м.

Роликовые холодильники, которые состоят из роликов диаметром 100–120 мм, расположены под углом $35\text{--}40^\circ$ к оси подводящего рольганга. Ролики приводятся во вращение от одного электродвигателя через редуктор и коническую шестеренную передачу, передающую вращение каждому ролику. При одновременном вращении всех роликов прокатанный металл перемещается в направлении от подводящего рольганга к отводящему. Достоинством такого холодильника является равномерное охлаждение металла.

Транспортировка прокатанного металла — рулонов в листопрокатных цехах горячей прокатки осуществляется при помощи систем, включающих различные транспортные устройства. В систему входят конвейеры, приемники рулонов, подъемно-поворотные столы, весы, передающие устройства и др. Существуют несколько систем транспортировки рулонов. Рулоны от моталок в системе уборки горячекатаных рулонов широкополосного стана (рис.77) передаются на параллельный линии прокатки конвейер, работающий в шаговом режиме, а затем при помощи подъемно-поворотных столов направляются конвейером либо на склад агрегата резки, либо к травильным агрегатам цеха холодной прокатки.

Шлепперы. Для перемещения заготовок и крупносортовых профилей поперек цеха от рольганга к рольгангу, к убороч-

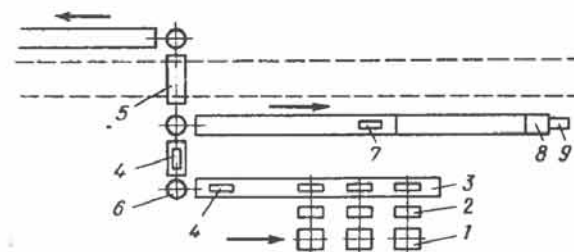


Рис.77. Схема расположения оборудования в системе уборки горячекатаных рулонов широкополосного стана:
1 — моталки; 2 — кантователь; 3 — приемный конвейер; 4 — весы; 5 — межцеховой конвейер; 6 — подъемно-поворотный стол; 7 — устройство для сдвигания рулонов; 8 — рольганг-накопитель; 9 — упор

ному карману или в соседний пролет цеха применяются канатные или цепные шлепперы.

Канатный шлеппер (рис.78) состоит из 6–8 канатов, которые натянуты между рядом приводных барабанов и рядом натяжных блоков. На всех канатах в один ряд закреплены шлепперные тележки с упорными пальцами. При ходе тележек вперед (на рисунке в направлении стрелки) упорные пальцы перемещают металл от рольганга к рольгангу. При обратном ходе тележек пальцы "утапливаются" и проходят под металлом.

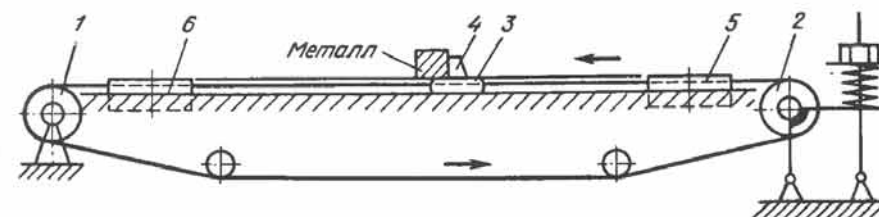


Рис.78. Схема канатного шлеппера:
1 — приводной барабан; 2 — натяжной блок; 3 — шлепперная тележка; 4 — упорный палец; 5, 6 — рольганги

При непрерывной реверсивной работе со скоростью перемещения тележек 1–2 м/с канатный шлеппер отличается маневренностью и позволяет накапливать на стеллаже и перемещать большое количество металла при одновременном его охлаждении.

Цепной шлеппер применяют для тех же целей, что и канатный, цепи более теплоустойчивы при перемещении горячего металла, чем канаты, однако нормально они могут рабо-

тать при натяжении их только в одну сторону, поэтому цепные шлепперы являются нереверсивными и менее маневренными.

Манипуляторы и кантователи. Манипуляторы предназначены для передвижения металла по роликам рольганга параллельно их бочке с целью последующего правильного направления металла в валки (или их калибры). Одновременно линейки манипулятора выправляют прокатываемый металл (блуж, сляб, заготовку), если он искривился при прокатке. Манипуляторы применяют на обжимных заготовочных и толстолистовых станах при прокатке слитков и относительно толстой заготовки.

Кантователи служат для поворота (кантовки) прокатываемой полосы относительно продольной оси на 90° перед задачей в следующий калибр для обеспечения равномерного обжата металла по всему сечению.

На обжимных станах (блужингах и слябингах) манипуляторы устанавливают с передней и задней сторон рабочей клетки. Прокатываемый металл, направленный в валки передней парой линеек, с другой стороны клетки принимается задней парой линеек, а затем передвигается ими к следующему калибру валков.

Кантователи применяют крюкового типа. В линейке манипулятора предусмотрены направляющие пазы, в которых могут вертикально передвигаться кантующие крюки (рис. 79).

Подъем крюков и опускание осуществляется поворотом

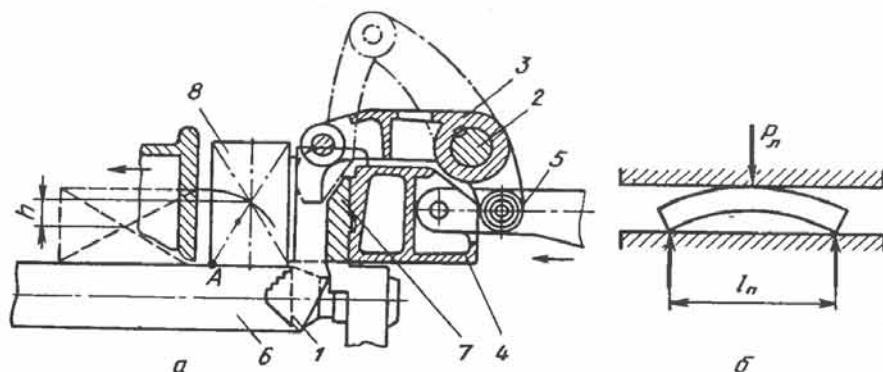


Рис. 79. Схема крюкового кантователя (а) и правки раската (блужа, сляба) линейками манипулятора (б):

1 — кантующий крюк; 2 — вал; 3 — рычаг; 4 — линейка манипулятора; 5 — штанга; 6 — ролик рольганга; 7 — направляющая линейка; 8 — слиток

вала, на котором закреплены рычаги, шарнирно соединенные с крюками. Вал со своими подшипниками смонтирован на линейке манипулятора и поворачивается при перемещении штанги. В исходном положении кантующие крюки находятся между роликами рольганга. При кантовке крюки поднимаются, захватывают нижнюю часть блужа и поворачивают его.

На сортовых станах для кантовки заготовки на ходу применяют так называемые кантующие втулки. Кантовка полосы производится после выхода ее из предыдущей клетки во время движения полосы по рольгангу и перед входом ее в последующую клетку (рис. 80).

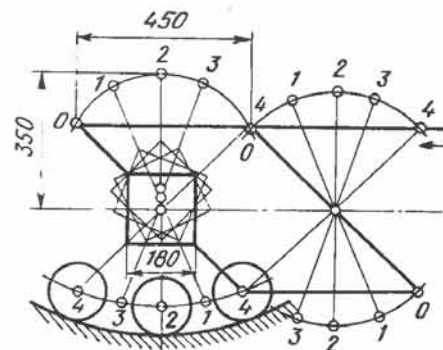


Рис. 80. Схема работы кантующей втулки мелкоsortного стана 350 (0, 1, 2, 3, 4 — последовательные положения звеньев кривошипно-шатунного привода при кантовке)

Кантующая втулка представляет собой разъемную деталь, которая поворачивается вокруг неподвижной точки при помощи кривошипно-шатунного привода для поворота раската на 45° или 90° , движущегося по рольгангу со скоростью 0,5–0,8 м/с. Время кантовки раската на 90° равно 1,3 с.

При входе во втулку раската втулка поворачивается на заданный угол, а после выхода возвращается в исходное положение.

Кантующая втулка встроена в плечо параллелограммного шарнирного механизма, который позволяет после кантовки устанавливать раскат таким образом, что ее продольная ось будет всегда находиться в одной и той же вертикальной плоскости, совпадающей с осью прокатки.

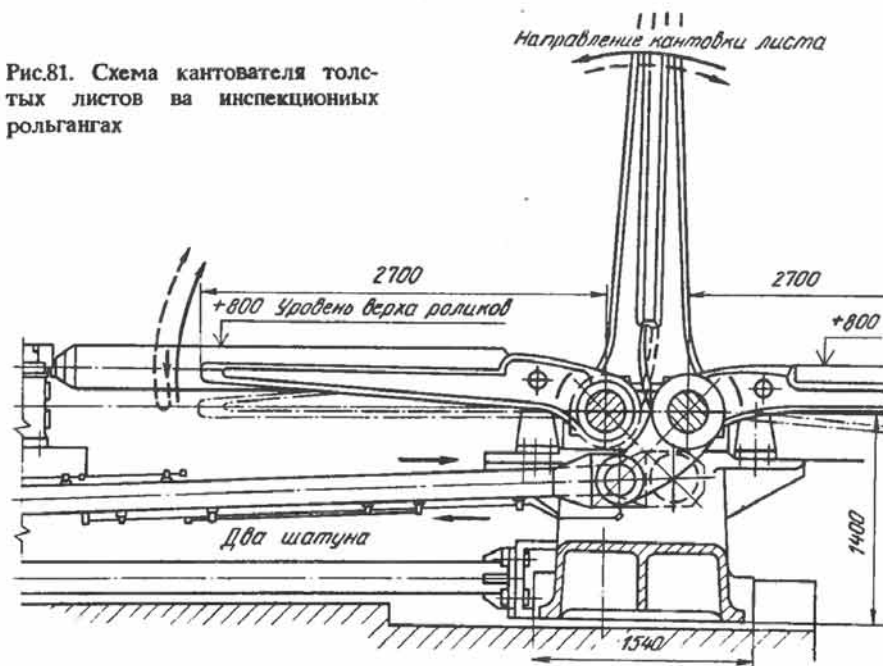
Кантователи применяют на инспекционных рольгангах для визуального осмотра качества поверхности сортового и листового проката; при правке рельсов на прессе; для кантовки рулонов из горизонтального положения в вертикальное и из вертикального в горизонтальное и т.д.

Манипуляторы применяют в линиях отделки толстых листов у гильотинных ножниц. Они обеспечивают возможность продольного или поперечного перемещения листов для правильной установки их в момент реза. При визуальном осмотре качества поверхностей горячекатаных толстых листов массой 8 т и длиной 10–20 м после охлаждения применяют кантователь, производящий кантовку листов на 180° для осмотра нижней поверхности.

Кантовка осуществляется двумя системами рычагов при перекладывании листа с одного рольганга на другой (рис. 81). В исходном нижнем положении рычаги находятся между роликами левого и правого рольгангов. Поворот рычагов осуществляется двумя шатунами. Кантовке листа на 180° соответствует один оборот кривошипа, для чего требуется 10 с.

Подъемно-качающиеся столы. Их применяют на листовых, сортовых трехвалковых и на тонколистовых двухвалковых станах линейного типа. На листовых трехвалковых станах подъемно-качающиеся столы устанавливают с обеих сторон рабочей клетки. С передней стороны стана подъемный стол служит для подъема прокатываемой полосы и задачи между

Рис. 81. Схема кантователя толстых листов на инспекционных рольгангах



верхним и средним валком. С задней стороны стана подъемный стол служит для приема выходящей из валков полосы, опускания и задачи ее между средним и нижним валками.

На сортовых трехвалковых станах с диаметром валков менее 600 мм столы устанавливают с одной передней стороны.

С задней стороны устанавливают кантователь, который служит для приема и опускания полосы.

На нереверсивных двухвалковых станах подъемные столы служат для подачи листов через верхний валок на сторону задачи для повторной прокатки.

На рис. 82 показана схема привода подъемно-качающегося стола. Обычно поднимается одна сторона стола, которая поворачивается относительно оси при помощи кривошипно-шатунного механизма, состоящего из вертикальной тяги и

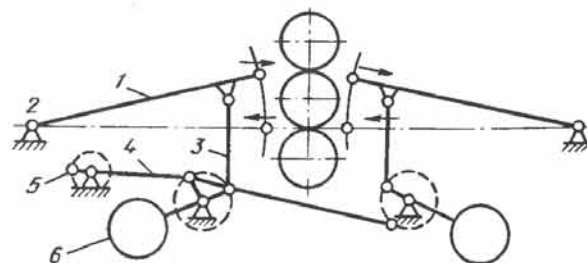


Рис. 82. Схема устройства подъемно-качающегося стола трехвалкового сортового стана:

1 — стол; 2 — ось; 3 — вертикальная тяга; 4 — кривошипно-рычажная передача; 5 — редуктор; 6 — контргруз

кривошипно-рычажной передачи, приводимой во вращение от электродвигателя через редуктор. Подъем и опускание производятся при повороте кривошипного вала редуктора на 180° . Масса стола уравнивается контргрузом. В целях синхронизации подъема и опускания столов установлен общий привод, а столы связаны тягами. Высота подъема стола постоянная.

Агрегаты и механизмы для порезки проката

Ножницы с параллельными ножами. Для порезки готового проката на мерные длины и обрезки концов устанавливают ножницы для горячей и холодной резки с параллельными ножами.

Основными параметрами ножниц являются: максимальные усилия резания P , ход ножей H , длина ножей L и число ходов в минуту n .

Размеры сечений, допускаемых для резки на ножницах, определяются, исходя из максимального усилия резания. Ход ножей выбирают с учетом возможности свободного прохода полосы максимального сечения под механическим прижимом и перекрытия ножей в конце резания (10–20 мм). Длину ножей для ножниц блюминга принимают (2–2,5)-кратной ширине блюма максимального сечения: для ножниц слябинга на 100–200 мм больше максимальной ширины сляба.

Поперечное сечение ножей обычно принимают исходя из отношения $h/b = 2,5-3$, где h — высота, b — толщина ножа.

Ножи изготавливают из стали марок 6ХНМ, 6ХВ2С и др. с твердостью после термообработки до НВ 400. Для увеличения срока службы ножей применяют наплавку режущих кромок твердыми сплавами (типа сормайта).

Максимальное усилие резания определяется исходя из сопротивления срезу металла при температуре, соответствующей температуре металла при резке. Перед началом резания ножи раскрыты и полоса проходит между ножами по рольгангу. Процесс резания начинается с пластической деформации после соприкосновения ножей с металлом.

Ножницы могут иметь верхний или нижний рез. Ножницы с верхним резом имеют простую конструкцию. В процессе резания нижний нож неподвижен, а верхний, укрепленный в суппорте, с помощью гидравлического или кривошипного привода движется вниз и разрезает металл (рис. 83, а). Чтобы воспрепятствовать повороту полосы при резе, устанавливают

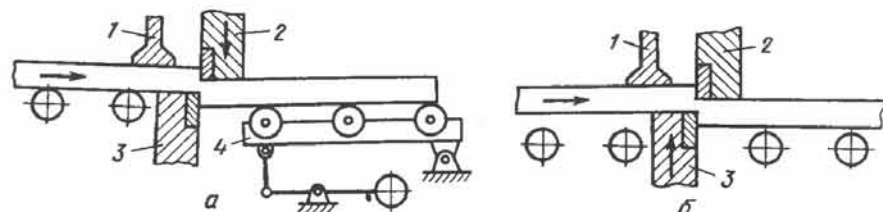


Рис. 83. Схема порезки раската на ножницах: а — с верхним резом; б — с нижним резом; 1 — прижим; 2 — верхний суппорт; 3 — нижний суппорт; 4 — подъемно-качающийся рольганг с грузовым уравновешиванием

специальный прижим, опускающийся на полосу с верхним ножом.

Недостатком ножниц с верхним резом является образование заусенцев на нижней грани разрезаемого металла, которые мешают продвижению полосы и портят поверхность рольганга. Кроме того, для избежания изгиба полосы при резании и давления на первые ролики рольганга необходимо за ножницами устанавливать качающийся стол, что усложняет конструкцию установки. Ножницы с нижним резом не имеют этих недостатков и поэтому получили более широкое применение (рис. 87, б). Перед началом разрезания ножницы раскрыты и металл проходит между ними по рольгангу: нижний нож при этом находится ниже роликов рольганга и не мешает движению металла. Затем металл останавливается при помощи передвигного упора и суппорт верхнего ножа отпускается до соприкосновения с металлом. Дальнейшее продвижение верхнего суппорта прекращается и начинает двигаться суппорт нижнего ножа, при этом осуществляется резание металла.

Ножницы с наклонными ножами. Ножницы этого типа называются гильотинными. Конструктивно они бывают двух типов: открытого и закрытого.

Ножницы открытого типа (рис. 84, а) имеют короткие ножи и одну станину с боковым просветом, через который подается разрезаемый металл. Этот тип ножниц применяют для порезки сутунки и сортового проката в холодном состоянии. В последнем случае форма ножей соответствует

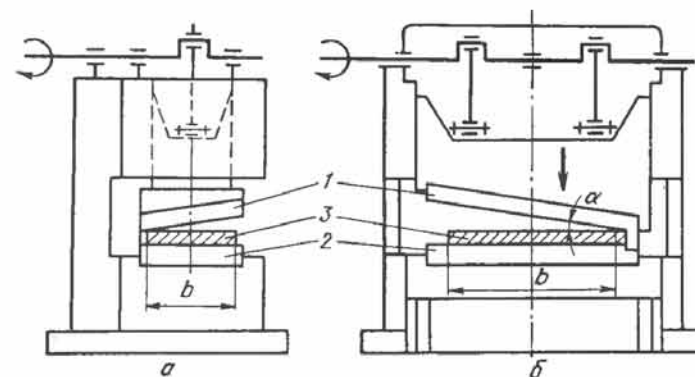


Рис. 84. Схемы гильотинных ножниц открытого (а) и закрытого (б) типов. 1 — верхний нож; 2 — нижний нож; 3 — металл

профилю сечения разрезаемого металла. Верхний подвижной нож имеет угол наклона $2-5^\circ$.

Ножницы закрытого типа (рис. 84, б) имеют две станины, соединенные снизу тавровый. В просвете между станинами перемещается суппорт с ножом. Эти ножницы применяют для поперечной резки широких полос и листов в холодном, полустывшем или горячем состоянии.

В ножницах с верхним подвижным ножом нижний нож, неподвижно закрепленный в станине, расположен горизонтально, а верхний наклонно. Угол наклона верхнего ножа при резке тонких листов принимается равным $1,5-6^\circ$, а при резке толстых листов $4-10^\circ$. Благодаря наклонному положению ножей, резание происходит не по всей площади разрезаемого листа одновременно, а только по некоторой части. В ножницах с нижним подвижным ножом нижний нож устанавливается горизонтально, а верхний — наклонно или нижний нож устанавливается наклонно, а верхний — горизонтально. Материал ножей сталь марок 5Х2ВС, 55ХНВ с твердостью после закалки HRC 55.

Летучие ножницы. Для резки металла при движении его с большой скоростью используются летучие ножницы. В прокатных цехах эксплуатируются ножницы различных конструкций: барабанные, рычажно-кривошипные, планетарные и маятниковые и др.

Барабанные летучие ножницы. Ножницы этого типа получили широкое применение для резки широких полос толщиной до 30 мм, холодной резки полос толщиной до 3 мм и горячей резки мелких сортовых профилей. На барабанах ножниц (рис. 85) закреплены по одному или по несколько ножей. Полоса движется непрерывно и подается к ножницам подающими роликами с постоянной скоростью. При встрече ножей верхнего и нижнего барабанов происходит резание полосы. Ножницы просты по конструкции, надежны в эксплуатации и

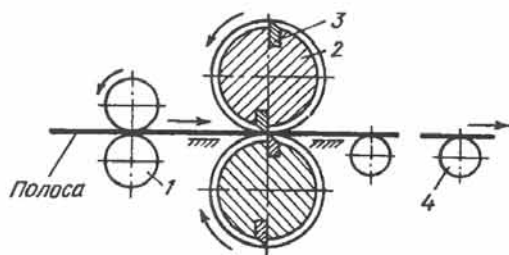


Рис. 85. Схема барабанных летучих ножниц:
1 — подающий ролик; 2 — барабанные ножницы; 3 — ножи; 4 — ролики рольганга

позволяют резать металл со скоростью более 15 м/с.

Ножницы могут работать в режиме периодических запусков и остановок и в режиме непрерывного вращения барабанов. В первом случае ножницы работают при отрезке короткого переднего конца полосы и при порезке полосы на длинные куски при небольшой скорости ее движения. При непрерывном режиме полоса поступает к ножницам с постоянной скоростью, а резание происходит через равные промежутки времени.

Рычажно-кривошипные летучие ножницы. При порезке толстых полос применяют рычажно-кривошипные летучие ножницы с поступательно движущимися ножами. Ножи совершают сложную эллипсовидную траекторию, а на участке реза эта траектория совпадает с горизонтальным движением полосы, сближаясь по вертикали.

На рис. 86 приведена схема режущего механизма. Жесткий угловой рычаг ABC шарнирно соединен в точке A с кривошипом, имеющим ось вращения в точке O_1 , и в точке B с кривошипом, имеющим ось вращения в точке O.

Каждый из ножей закреплен в двуплечем рычаге. Благодаря такой кинематической схеме, ножи будут сближаться, оставаясь в вертикальном положении, а траектория ножей в период реза близка к движению полосы.

Существенным недостатком этих ножниц является большая

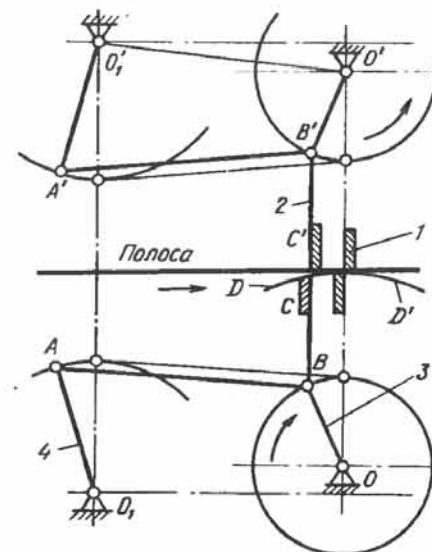


Рис. 86. Схема рычажно-кривошипных летучих ножниц:
1 — нож; 2 — рычаг; 3 — кривошип; 4 — маятник-кривошип

инерционность механизма резания, поэтому они применяются при скорости не более 2 м/с.

Планетарные летучие ножницы. Для порезки заготовок и сортовых профилей применяются планетарные летучие ножницы. Они предназначены для порезки на ходу заготовок сечением 80×80 и 120×120 со скоростью 7,0 и 3,1 м/с соответственно, а также плоских заготовок сечением 100×120 — 100×150 мм и круглых заготовок диаметром 100–140 мм (рис. 87). Ножницы могут работать в режиме без пропуска реза и с пропуском реза.

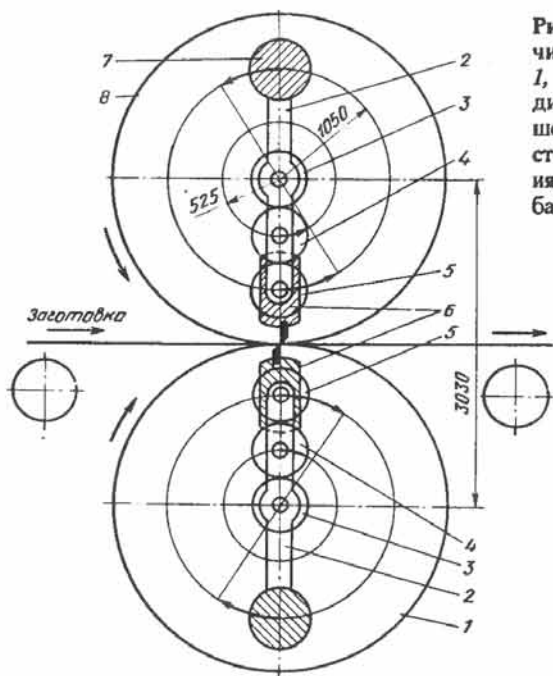


Рис. 87. Схема планетарных летучих ножниц:
1, 8 — зубчатые колеса; 2 — дифференциал; 3 — центральная шестерня; 4 — промежуточная шестерня; 5 — планетарная шестерня; 6 — суппорт с ножом; 7 — балансир

При работе с пропуском реза кривошип приводится во вращение от редуктора пропуска реза (на рисунке не показан) с угловой скоростью, в два раза меньшей угловой скорости барабанов. В конце первого оборота барабанов солнечные и планетарные шестерни при помощи шарнирно-рычажной системы повернутся в противоположных направлениях, обеспечивая возможность свободного прохода заготовки между раздвинутыми ножами. В конце второго оборота барабанов произойдет резание заготовки на двойные длины.

Дисковые ножницы применяют для обрезки кромок полосы и разрезки широких полос в продольном направлении на несколько более узкие полосы.

Приводные дисковые ножи вращаются навстречу друг другу (рис. 88). Для получения качественной резки дисковые ножи устанавливают с радиальным перекрытием ($\Delta = 1-3$ мм). Чем толще полоса, тем меньше перекрытие ножей. При резании полосы толщиной более 10 мм ножи устанавливают с радиальным зазором.

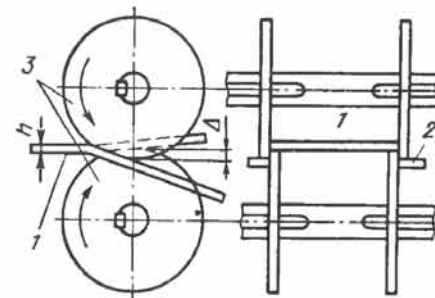


Рис. 88. Схема дисковых ножниц:
1 — полоса; 2 — кромка полосы;
3 — дисковые ножи

В процессе резания регулируется взаимное положение ножей в горизонтальном направлении в зависимости от толщины разрезаемой заготовки.

При резании полосы толщиной менее 0,2 мм ножи устанавливают плотно, без зазора, а при резании более толстых полос зазор выбирается исходя из соотношения $\delta = (0,05 - 0,08)h$, где h — толщина полосы.

Толщина диска принимается в пределах $(0,06-0,1)D$. Ножи изготавливаются из хромовольфрамовой стали марки 5XB2C. Угол заострения ножей составляет обычно 90° . Для того чтобы полоса выходила прямо, а обрезаемая кромка направлялась под большим углом вниз, центры дисковых ножей смещены в вертикальной плоскости, при этом верхний нож смещен по направлению движения полосы относительно нижнего ножа.

Дисковые пилы. Для порезки профильного проката применяются дисковые пилы с целью повышения качества реза. Дисковые пилы разделяются на две группы: для горячего резания (зубчатые диски) и для холодного резания (гладкие диски). У пил с гладкими дисками резание происходит вследствие расплавления металла при трении быстровращающегося диска.

Основными параметрами дисковых пил являются диаметр, толщина и ход диска, допустимые размеры разрезаемых профилей и т.д. Наиболее широкое распространение в прокатных цехах получили салазковые дисковые пилы. Рама пилы может качаться относительно горизонтальной оси (рис. 89). На одном конце рамы находится диск, на другом электродвигатель, вращающий диск через ременную передачу. Диски интенсивно охлаждают водой с целью предотвращения их перегрева и быстрого выхода из строя. Диаметр диска колеблется от 150 до 2000 мм. В прокатных цехах применяются также дисковые пилы рычажного типа и ударные пилы. В пилах рычажного типа диск подается на металл при помощи четырехзвенного рычажного механизма, а в случае ударных пил при помощи поворотного водила, на конце которого установлен вал привода диска. С увеличением скорости подачи диска увеличивается производительность этих пил.

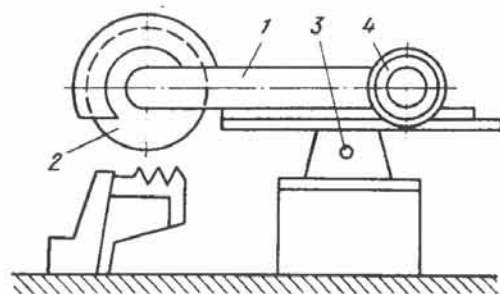


Рис. 89. Схема дисковой салазковой пилы:
1 — рама пилы; 2 — диск; 3 — вал; 4 — электродвигатель

Для порезки горячего проката крупного сечения (квадрат 200×200 — 300×300 мм, круг 200—350 мм) из углеродистой и легированной стали применяют роторные дисковые пилы. Диск пилы приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу (рис. 90). Центр диска пилы вращается по круговой траектории относительно оси приводного вала рычага-водила. Благодаря большой скорости подачи (в 50—100 раз большей, чем у салазковых пил) время собственно резания металла составляет 0,2—0,3 с. Цикл одного резания 5—8 с (вместо 15—20 с при резании салазковыми пилами). Таким образом, производительность роторных пил значительно выше, чем салазковых.

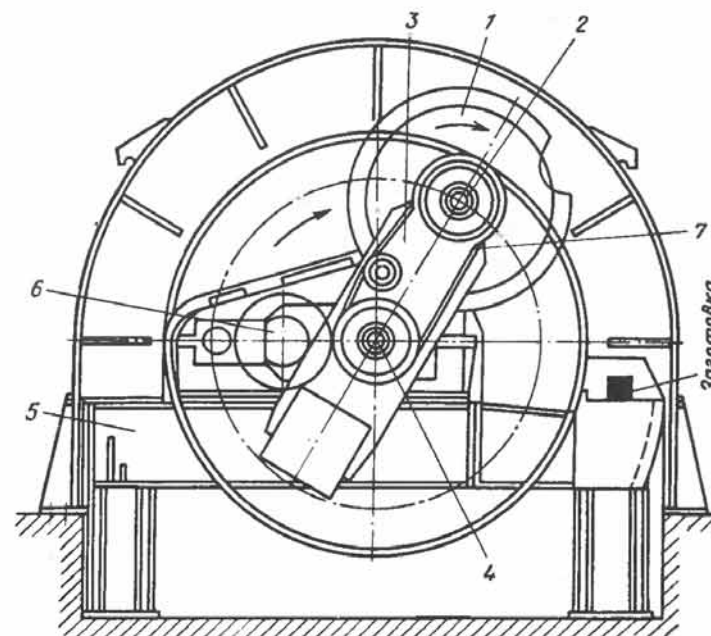


Рис. 90. Схема дисковой роторной пилы:
1 — диск пилы; 2 — подшипник диска пилы; 3 — рычаг-водило; 4 — вал; 5 — рама; 6 — редуктор; 7 — клиноременная передача

Правильные агрегаты

В прокатных цехах применяют правку металла изгибом, растяжением и прокаткой с небольшими обжатиями (дрессировкой). Правку производят как в горячем, так и в холодном состоянии на правильных прессах и в роликовых правильных машинах.

Правильные прессы применяют для дополнительной правки концов сортовых профилей, недостаточно качественно выправленных на роликовых машинах, а также правки сортовых профилей (балок, швеллеров) в плоскости наибольшей жесткости их поперечного сечения.

Правильные прессы бывают горизонтальные и вертикальные. На вертикальных прессах профиль устанавливают на двух роликовых опорах, расположенных на неподвижном столе. Правку осуществляют приложением усилия P посредине между опорами путем перемещения верхнего ползуна в вертикальной плоскости (рис. 91).

На горизонтальных прессах схема правки аналогична, но

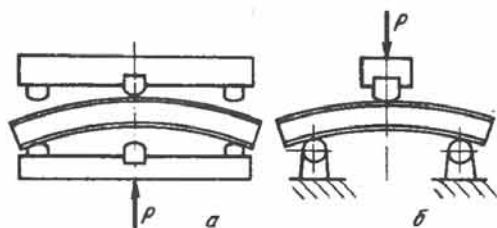


Рис.91. Схемы правки металла на горизонтальном (а) и вертикальном (б) прессах

ползун, передающий усилие правки, расположен горизонтально и перемещение его осуществляется в горизонтальной плоскости.

Горизонтальный пресс устанавливают в линии ролланга за сортоправильной машиной, и он работает непрерывно при движении профилей по роллангу.

Листоправильные машины разделяются на две группы: с параллельным расположением роликов и наклонным. На машинах с параллельным расположением роликов правят толстые листы (свыше 12 мм). На машинах с наклонным расположением роликов правят тонкие листы и полосы (до 4 мм) (рис. 92).

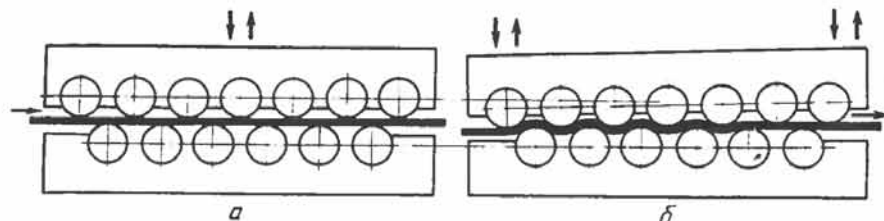


Рис.92. Схемы листоправильных машин с параллельным (а) и наклонным (б) расположением роликов

В машинах первого типа лист прогибается одинаково под всеми роликами. В машинах второго типа лист получает наибольший прогиб между первыми роликами, дальше прогиб листа уменьшается и у последних роликов кривизна выправляется. Качество правки зависит от шага роликов b и количества роликов. Большой шаг не обеспечивает требуемого качества правки, однако при малом шаге увеличивается давление на ролики, что усложняет конструкцию. Чем больше роликов, тем выше качество правки. Для правки сортовой стали принимают 5–11 роликов, а для правки листовой стали в зависимости от толщины от 9 до 23 роликов. Величина шага роликов выбирается из практических рекомендаций в 156

зависимости от толщины листа. Диаметр роликов принимается равным $d = (0,75 - 0,9)b$.

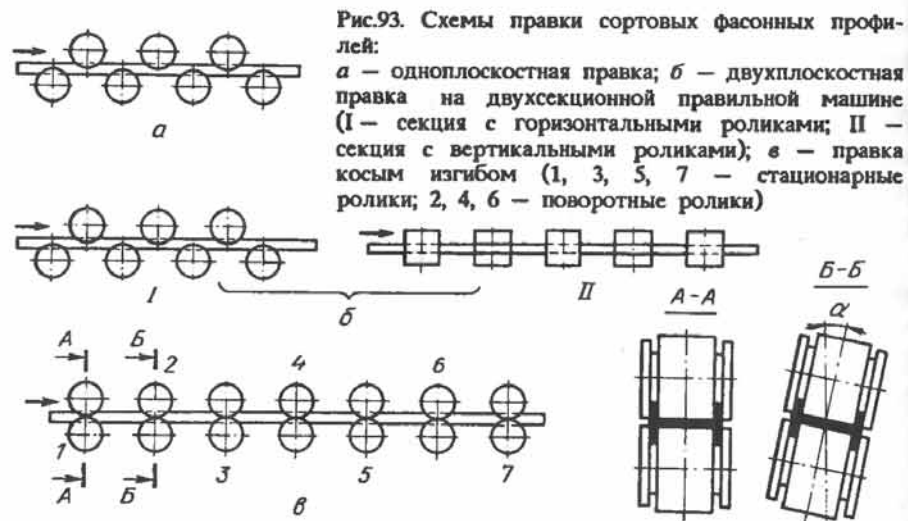
Скорость при холодной правке выбирается в пределах 0,1–1,5, а при горячей 0,5–4 м/с. Для уменьшения прогиба валков небольшого диаметра у листоправильных машин для правки тонких листов устанавливают опорные ролики большего диаметра.

Правку растяжением применяют для листов, которые трудно править на роликовых машинах. При правке растяжением в материале листа создают напряжение, равное пределу текучести $\sigma_{0.2}$. Правка растяжением позволяет в лучшей степени устранить коробоватость листов без следов на поверхности. При правке растяжением концы листа заправляют в зажимные губки, затем зажимные губки расходятся и создается усилие растяжения в листе. Роликовые сортоправильные машины применяют для холодной правки сортового металла (рельсов, балок, швеллеров, угловых, квадратных и круглых профилей и т.д.).

Сортоправильные машины с профилированными роликами бывают двух типов: с открытым консольным расположением роликов и с закрытым расположением роликов на валах между двумя опорами последних. Правильные машины с консольными однорядными роликами более удобны в эксплуатации (легко доступны для наблюдений и смены роликов), поэтому их применяют для правки не только мелких и средних, но и крупных профилей, например, рельсов.

Основными параметрами сортоправильных машин являются: шаг роликов b , максимальная высота выправляемого профиля h , момент сопротивления сечения профиля W , диаметр роликов D , скорость правки V и число роликов n . Для правки рельсов и крупных сортовых профилей применяют правильные машины с 7–9 роликами, а для правки средних и мелких профилей с 11–13 роликами. Скорость правки в зависимости от требуемой производительности лежит в пределах 0,5–0,3 м/с.

Правка профилей на многороликовых машинах осуществляется путем последовательного знакопеременного изгиба их между роликами, расположенными в шахматном порядке (рис. 93, а). Этот метод достаточным является только для правки простых сортовых профилей. Для фасонных сортовых профилей применяют дополнительную правку во взаимно перпендикуляр-



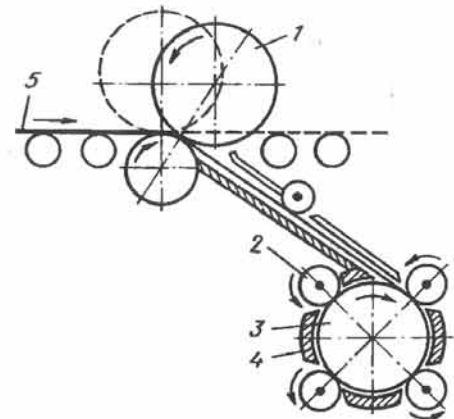
ных плоскостях путем изгиба на прессах и правкой на многороликовой правильной машине двухплоскостной правки с горизонтальными и вертикальными роликами (рис. 93, б). В этом случае ролики расположены в шахматном порядке. Правка осуществляется последовательно в горизонтальной, а затем в вертикальной плоскостях. Для правки тонкостенных профилей (балок, швеллеров и др.) применяется способ стесненного кручения или косоугольного изгиба. В этом случае к сечению профиля прикладывается крутящий момент. Правильная машина имеет несколько пар консольных роликов соответствующего профиля, причем ролики расположены один над другим. При этом каждая последующая четная пара роликов может быть установлена под некоторым углом α к вертикали (рис. 93, в).

Механизмы для сматывания и разматывания металла

Для сматывания прокатанного металла в рулоны (полоса, лента, штрипс) и бунты (катанка, мелкосортные профили) применяют моталки. По назначению и конструкции их разделяют на: роliko-барабанные моталки для горячей полосы; барабанные моталки для холодной полосы; свертывающие машины для горячей полосы — штрипса; моталки для сматывания в бунты горячих мелкосортных профилей (круг, квадрат) и катанки.

Для приема и центрирования рулонов, отгибания передне-

Рис. 94. Схема четырехроликовой барабанной моталки:
 1 — подающие ролики; 2 — формирующие ролики; 3 — барабан; 4 — проводки; 5 — полоса



го конца рулона с целью направления полосы в прокатный стан (или агрегат резки, отжига, покрытия и т.д.) и создания натяжения полосы при разматывании рулона предназначены разматыватели.

Моталки. Для сматывания горячих полос применяются роlikовые барабанные моталки. На рис. 94 показана схема моталки, установленной на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки.

Полоса подается от стана по рольгангу к подающим роликам, которые направляют полосу между формирующими роликами и барабаном моталки.

При сматывании тонкой горячей полосы (1–4 мм) после образования 2–3 первых витков формирующие ролики отводятся от рулона и дальнейшее сматывание осуществляется с натяжением полосы барабаном моталки. При сматывании более толстой полосы после захвата переднего конца полосы барабаном формирующие ролики остаются плотно прижатыми к полосе.

Для получения ровной смотки рулона по торцам перед моталкой устанавливают направляющие линейки. Для снятия рулона с барабана применяют тележки-съемники. Подающие, формирующие ролики и барабан имеют индивидуальный безредукторный привод от электродвигателей. После окончания сматывания полосы диаметр барабана уменьшается, рулон снимается тележкой-съемником, кантуется из горизонтального положения в вертикальное и устанавливается на расположенный рядом транспортер.

Барабанные моталки применяют для сматывания холодной

полосы, на их полосе одновременно сообщается натяжение. Создание переднего и заднего натяжений производится для снижения давления металла на валки и обеспечения лучшего центрирования полосы по оси прокатки. Барабанные моталки применяются на реверсивных и нереверсивных станах.

На реверсивных станах моталки устанавливаются по обеим сторонам клетки.

Роль моталок после каждого пропуска меняется: из ведущей одна из моталок становится ведомой, а ведомая становится ведущей. К моталкам современных станов предъявляются следующие требования: обеспечение быстрого съема рулона с барабана моталки; возможность обеспечения ровной и плотной смотки полосы; надежное крепление в барабане переднего конца полосы.

Для обеспечения быстрого съема рулона вал барабана моталки изготавливается консольного типа с двумя опорами с одной стороны, ко второму концу вала перед наматыванием полосы на барабан подводят дополнительную опору. Перед снятием рулона с барабана моталки опору отводят в сторону. Конструкция барабана выполнена таким образом, чтобы диаметр барабана можно было изменять.

Барабан (рис. 95) состоит из трех сегментов: одного

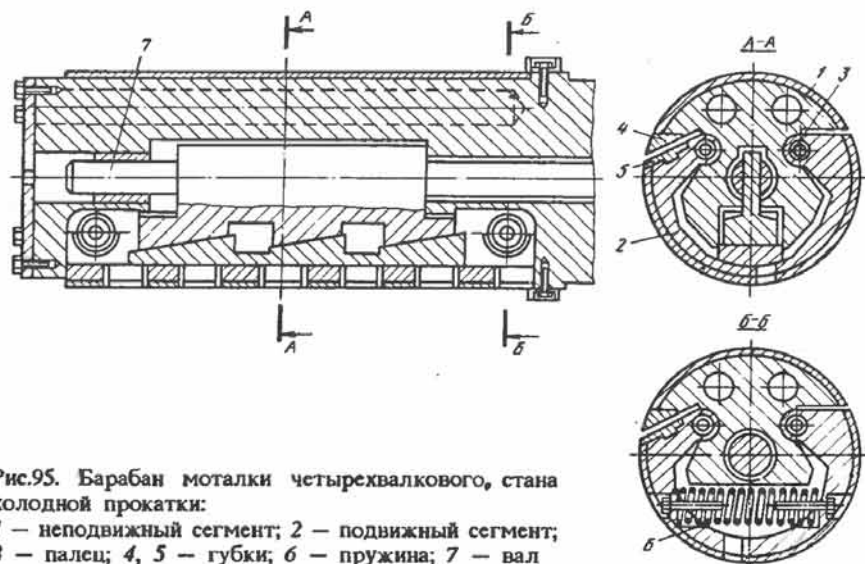


Рис. 95. Барабан моталки четырехвалкового, стана холодной прокатки:

1 — неподвижный сегмент; 2 — подвижный сегмент; 3 — палец; 4, 5 — губки; 6 — пружина; 7 — вал

неподвижного и двух сегментов, связанных шарнирно с основным с помощью пальцев. Конец полосы заводится в щель и зажимается губками. В момент намотки сегменты раздвинуты в крайнее положение. Перед снятием рулона диаметр барабана уменьшается посредством двух пружин, которые поворачивают концы сегментов внутрь относительно шарниров при повороте вала против часовой стрелки на 34° . Существуют другие конструкции раздвижных барабанов.

При прокатке тонкого металла толщиной менее 0,2 мм на барабан надевают шпули с целью беспрепятственного съема рулонов с барабана и предотвращения сплющивания рулонов. Барабаны моталок современных станов холодной прокатки имеют диаметр 500—600 мм. Моталки оборудуются автоматическими ременными захлестывателями, что значительно сокращает время задачи полосы в барабан. Над барабаном моталки устанавливают текстолитовый прижимной ролик, который служит для подмотки полосы и предотвращения распушивания рулона при увязке его на барабане. Снимают рулон с барабана при помощи специального снимателя.

Свертывающие машины используют для горячего и холодного свертывания широких полос в рулоны. В машинах этого типа полосу свертывают не на барабан, а путем изгиба в роликах. Свертывающие машины устанавливают в потоке стана, скорость сматывания остается постоянной и не зависит от диаметра рулона.

Свертывающая моталка предназначена для свертывания в рулоны горячей полосы, движущейся со скоростью 7—21 м/с; толщина полосы 2—8 мм, ширина 116—400 мм, масса рулона до 3,8 т.

Моталки для сматывания в бунты катанки диаметром от 6 до 10 мм и круглой стали диаметром до 40 мм. Применяют барабанные моталки двух видов: с вращающимся бунтом и с неподвижным бунтом. Моталки первого типа применяются для сматывания катанки при скоростях только до 10 м/с. Их преимущество состоит в том, что, кроме катанки и круглой стали, на них можно сматывать и мелкие профили квадратного сечения. При сматывании катанки применяются также моталки с неподвижным бунтом, преимущество которых является отсутствие вращения бунта и сматывание металла при любой скорости его подачи, достигающей 20 м/с и более.

Разматыватели широко применяют при холодной прокатке

листовой стали. Они входят в состав агрегатов непрерывного травления, отжига, лужения рулонов и др. В состав разматывателя входят: устройство для установки рулона в положение для разматывания и приспособление для отгибания переднего конца рулона и задачи его в подающие ролики.

Для разматывания полосы в зависимости от назначения применяют разматыватели различных типов. Для полос толщиной 1,5–5 мм, шириной до 1500 мм применяют двухконусные разматыватели с приводными конусами со скоростью до 1 м/с.

Для разматывания тяжелых рулонов весом до 45 т со скоростью до 7 м/с, шириной полосы до 1500 мм и толщиной до 2 мм применяются разматыватели с барабаном клинового типа.

Агрегаты отделки проката

Получение готового проката высокого качества возможно только тогда, когда на всех стадиях технологического процесса в прокатном цехе осуществляются контроль качества металла, устранение дефектов и отделка проката в механизированных поточных линиях. При производстве готового проката в настоящее время в прокатных цехах эксплуатируются агрегаты отделки проката.

Схема агрегата сплошной зачистки слябов при производстве горячекатанной полосы на непрерывном широкополосном стане показана на рис. 96. Слябы подаются на подъемно-опускающий стол, сталкиваются сталкивателем на рольганг, выравниваются направляющими линейками и поступают на транспортер, который транспортирует их через группу шлифовально-обдирочных станков. За один проход через станки с верхней поверхности слябов снимается слой металла толщиной 0,5 мм. Затем сляб кантуется на 180° кантователем и зачищается другая сторона сляба.

Для выборочной и сплошной зачистки применяются также машины с абразивным кругом, установленные на самоходных тележках (рис. 97). Машина, состоящая из рамы-тележки, движется по рельсам вдоль листа. Поперек листа по направляющим рамы перемещается на роликах зачистная тележка, на которой смонтирована каретка с шлифовальным кругом диаметром 400 мм. Пыль отсасывается пылеотсасывающим устройством. При зачистке абразивный круг перемещается вдоль и

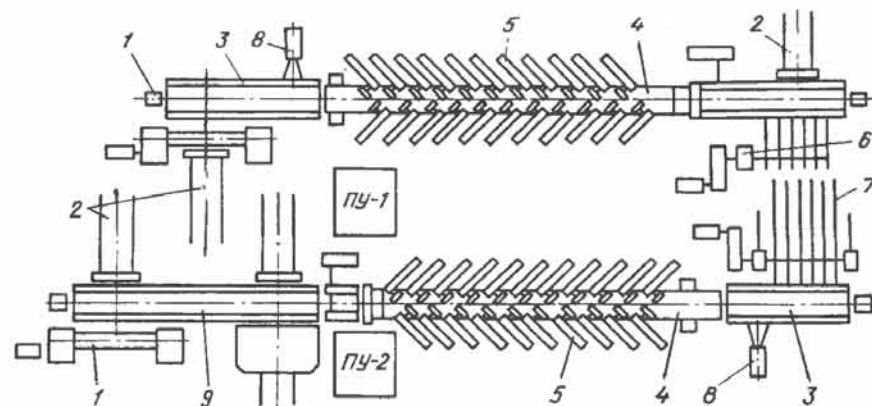


Рис. 96. Схема агрегата сплошной зачистки слябов:

1 — подъемно-опускающий стол; 2 — сталкиватель; 3 — рольганг; 4 — транспортер; 5 — шлифовально-обдирочные станки; 6 — кантователь слябов; 7 — транспортер; 8 — направляющие линейки; 9 — уборочный рольганг; ПУ — пост управления

поперек листа и одновременно совершает возвратно-поступательное движение.

Удаление дефектов в виде мелких трещин и плен с поверхности проката осуществляется на *поточной линии отделки* крупного сортового проката (рис. 98). Пакеты круглых профилей (прутков, штанг) краном укладываются на загрузочное устройство, с которого толкателем задаются в правильную машину с косорасположенными гиперболическими роликами. Далее круглые профили направляются в два параллельных потока. В каждом из них на подрезнорасточных станках осуществляется подрезка торцов проката. С целью лучшего обнаружения дефектов производится сплошное светление и зачистка поверхности змейкой на наклонном стеллаже. Затем осуществляется выборочная абразивная зачистка дефектов на восьми шлифовальных станках; искрение на специальных наждачных станках с целью проверки однородности марки стали проката; маркировка проката краской; обвязка и взвешивание пачек проката вязальной машиной и уборка пачек готового проката на склад. При обнаружении неисправного брака прутки направляются в карман. При наличии дефектных участков, они вырезаются на станке анодно-механической резки.

Производительность линии отделки круглого легированно-

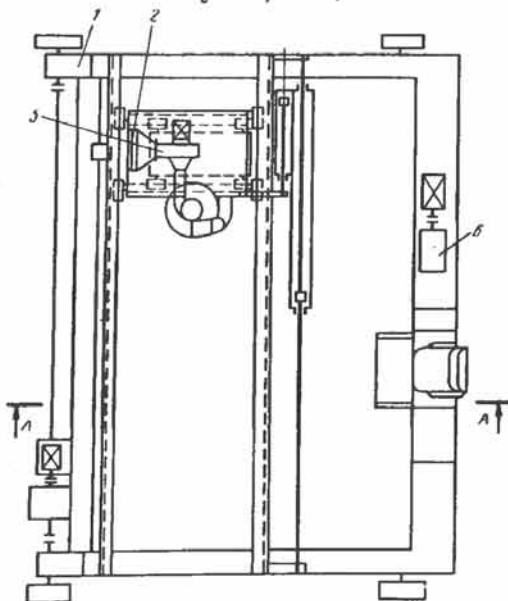
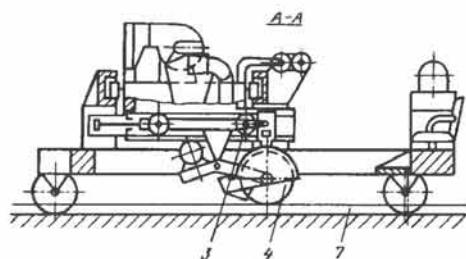


Рис.97. Машина зачистки толстых листов:
1 — рама-тележка; 2 — зачистная гележка; 3 — каретка; 4 — шлифовальный круг; 5 — пылесосывающее устройство; 6 — насосная станция; 7 — зачищаемый лист

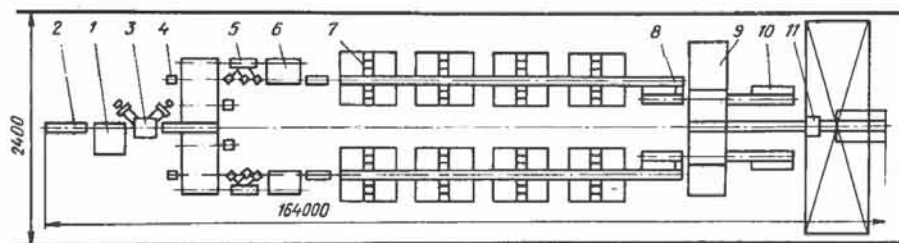


Рис.98. Схема поточной линии отделки сортового проката:

1 — загрузочное устройство; 2 — толкатель; 3 — правильная машина; 4 — под-
резно-расточной станок; 5 — наждачный станок; 6 — ваклонный стеллаж; 7 —
шлифовальные станки; 8 — наждачный станок; 9 — вязальная машина; 10 — кар-
ман; 11 — станок анодно-механической резки

го проката диаметром 50—110 мм составляет около 150 тыс.т в год.

В некоторых случаях в линиях зачистки вместо абразивных кругов устанавливаются фрезерные станки или газорезущие головки. С целью повышения качества готовой продукции в поточных линиях отделки осуществляется ультразвуковая и магнитная дефектоскопия поверхности проката.

Агрегаты термической обработки и охлаждения проката

Термическая обработка готового проката приводит к существенному повышению его механических свойств. На металлургических заводах для термического упрочнения применяются агрегаты и линии для термической обработки листов, устройства и линии для термического упрочнения арматурной стали и мелких фасонных профилей в потоке станов и др.

Одним из эффективных способов повышения стойкости рельсов является их термическая обработка. На рис. 99 представлена схема расположения оборудования для термической обработки рельсов. После прокатки рельсы охлаждаются на стеллажах до 500—300 °С, затем их загружают в печь с роликовым подом для нагрева под закалку (температура 820—850 °С) в течение 30—45 мин; головку рельса закаливают в машине водой с температурой 35—50 °С. После закалки рельсы в горячем состоянии для уменьшения кривизны подвергают изгибу в гибочной машине, затем охлаждают на стеллажах; после полного охлаждения рельсы правят в

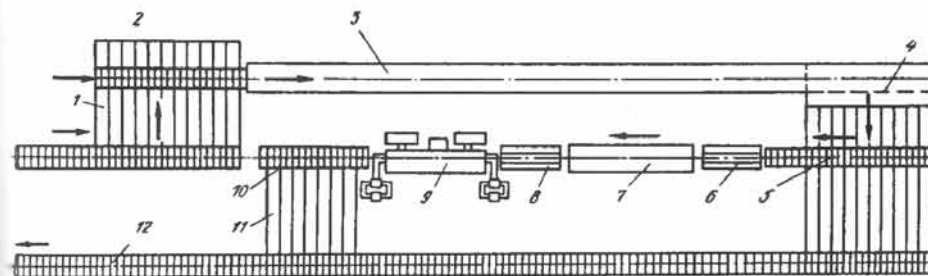


Рис.99. Схема расположения оборудования термической обработки рельсов:

1 — стеллаж для охлаждения рельсов после прокатки; 2 — рольганг для загрузки рельсов в печь; 3 — печь с роликовым подом; 4 — камера для боковой выдачи нагретых рельсов; 5 — рольганг; 6 — кантователь рельсов головкой вниз; 7 — машина для закалки головок рельсов; 8 — кантователь рельсов головкой набок; 9 — гибочная машина; 10 — рольганг; 11 — стеллаж для охлаждения закаленных рельсов; 12 — рольганг для передачи рельсов к правильной машине

роlikоправильной машине и штемпельном прессе и подвергают механической обработке (фрезеровка торцов и сверление бортовых отверстий).

Машина для закалки головки рельсов (рис. 100) представляет собой ряд из 22 роlikовых клеток, расположенных в одну линию на расстоянии 1 м одна от другой. Нижние горизонтальные ролики клетки неподжны, а верхние могут перемещаться в вертикальной плоскости, это позволяет закаливать рельсы различных типов (Р43, Р50, Р65). Нагретые рельсы перед закалочной машиной кантуются головкой вниз

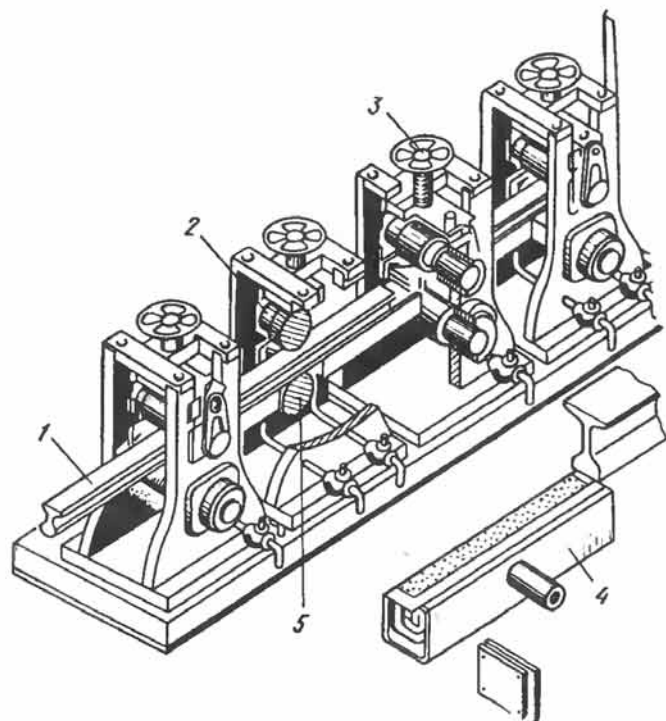


Рис. 100. Машина для закалки головки рельсов:
1 — рельс; 2 — непериводной ролик; 3 — механизм подъема и опускания роликов;
4 — струйный агрегат для подачи воды; 5 — приводной ролик

и задаются рольгангом в закалочную машину. Охлаждающие секции выполнены в виде резервуара, в верхней стенке которого размещены сопла, направляющие воду вверх на поверхность катания головки движущегося рельса. В промежутке между охлаждающими секциями расположены транспортирую-

щие ролики, где головка рельса водой не охлаждается. Так как в процессе закалки рельсы изгибаются подошвой внутрь, они поступают в гибочную машину, в которой изгибаются в противоположную сторону. В процессе охлаждения рельсы выпрямляются, стрела прогиба не превышает 100–150 мм на длине 12,5 м.

Другим способом термической обработки рельсов является *объемная закалка в масле*. В этом случае рельс нагревается до 890–920 °С при непрерывном возвратно-поступательном движении для более равномерного прогрева. После выдачи из печи рельс выдерживается на воздухе 30–60 с, при этом температура его снижается до 820–840 °С. Закалка производится погружением рельса в бак в веретенном масле, имеющим температуру 120 °С. Охлаждение длится 5–8 мин, после чего дается двухчасовой отпуск при 480–500 °С.

Такая закалка увеличивает контактно-усталостную прочность рельсов в 1,5–2 раза, стойкость в 2 и более раз.

Получили распространение *агрегаты термической обработки листов и полос непрерывного действия*. Способы и методы термической обработки показаны на рис. 47, а, и их разделяют на следующие типы: верхние со струевой подачей воды низкого (до 200–400 кПа) или высокого (до 1000–1700 кПа) давления и с ламинарной подачей воды низкого (до 30 кПа) давления и нижние со струевой подачей воды низкого (до 200–400 кПа) или высокого (до 1000 кПа) давления.

Верхние струевые системы охлаждения низкого давления воды характеризуются возможностью "мягкого" охлаждения. В качестве рабочих органов чаще всего используются душирующие устройства, выполненные в виде труб с отверстиями или соплами (коллекторы), вода к которым подводится от магистрального трубопровода.

Охлаждение полосы осуществляется ламинарными струями с высоты 1200–2200 мм и более.

У нижних систем со струевой подачей воды на полосу обычно коллекторы расположены через шаг между роliками рольганга, ниже их верхнего уровня на 200–300 мм и менее.

Для непрерывного полосового стана разработана линия ускоренного охлаждения полос с верхней ламинарной подачей воды. Верхняя система охлаждения состоит из двенадцати секций с тремя камерами каждая, которые расположены на

высоте 1500 мм над уровнем роликов рольганга. Линия рассчитана на охлаждение полос толщиной 1,5–12 и шириной до 1550 мм от температуры конца прокатки до температуры смотки 550–600 °С при скорости прокатки до 18 м/с. Общий расход воды на охлаждение полос сверху и снизу составляет 7500 м³/ч при давлении до 30 кПа. Общая длина линии равна 110 м при длине отводящего рольганга стана около 150 м.

Закалку толстых листов осуществляют в роликовых машинах (рис. 101). Нижний ряд роликов установлен на постоянном уровне. Положение в пространстве верхнего ряда

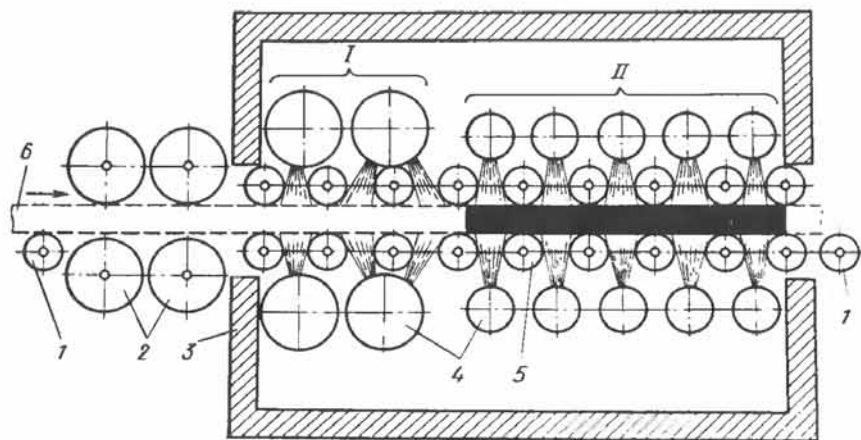


Рис. 101. Роликовая машина для закалки толстых листов:

I — зона охлаждения высокого давления; II — зона охлаждения низкого давления; 1 — ролики рольганга; 2 — ролики правильного устройства; 3 — станина; 4 — душирующее устройство; 5 — ролики закалочной машины; 6 — лист

роликов регулируется в зависимости от толщины закаливаемого листа. Первые две пары роликов большого диаметра предназначены для правки нагретого примерно до 1000 °С листа, поступающего к машине из печи по рольгангу. При дальнейшем перемещении лист попадает в первую зону охлаждения, где на него сверху и снизу из распылительных форсунок подают воду под высоким давлением в количестве 3600 м³/т. Длительность охлаждения листа средней толщины в первой зоны составляет около 8 с. Далее лист поступает во вторую зону интенсивного охлаждения. Распыливающие форсунки также расположены рядами между роликами. В этой зоне закалка может осуществляться как при непрерывном,

так и при возвратно-поступательном перемещении его между роликами в течение необходимого времени.

В закалочных прессах осуществляют закалку листов по заданному режиму; при этом стремятся получить минимальное коробление. Прессы должны обеспечивать необходимое усилие, действующее на лист, зажатый между стационарной и подвижной рамами с помощью гидравлических цилиндров. Вода, подаваемая на лист, должна равномерно распределяться по всей поверхности листа с тем, чтобы уменьшить его коробление.

В последнее время получил развитие способ ускоренного охлаждения толстых листов, при котором совмещаются операции горячей прокатки листов в последних проходах в чистовых клетях с ускоренным их охлаждением в системе, установленной за рабочей клетью.

С целью повышения качества катанки на проволочных станах применяются регулируемое и ускоренное охлаждение водой с прокатного нагрева, которое осуществляется при прохождении катанки через направляющие трубы (рис. 43, б). Воду в направляющих трубах подают по направлению движения катанки, против него, а также перпендикулярно движению металла.

Для высокоскоростных проволочных станов применяется способ сорбитизации катанки (Стилмор-процесс).

Внедрение регулируемого и ускоренного охлаждения катанки в потоке стана позволяет: снизить потери металла с окалиной до 3–10 кг на 1 т катанки; получить равномерное распределение механических свойств по длине катанки.

В настоящее время на сортовых станах также эксплуатируются линии для термического упрочнения металла в потоке с использованием тепла прокатного нагрева. На рис. 102 показана линия упрочнения арматурной стали в потоке непрерывного стана 250. Она предназначена для упрочнения круглых профилей и арматурной стали диаметром 10–14 мм в двух линиях охлаждения. Каждая линия состоит из 13–15 секций-труб, в которые подается водовоздушная смесь при определенном соотношении воды и воздуха. Общая длина охлаждающих секций линии 34 м. На данной линии получают термически упрочненную арматурную сталь. Арматурные стержни диаметром 10 мм из стали 20ГС после упрочнения

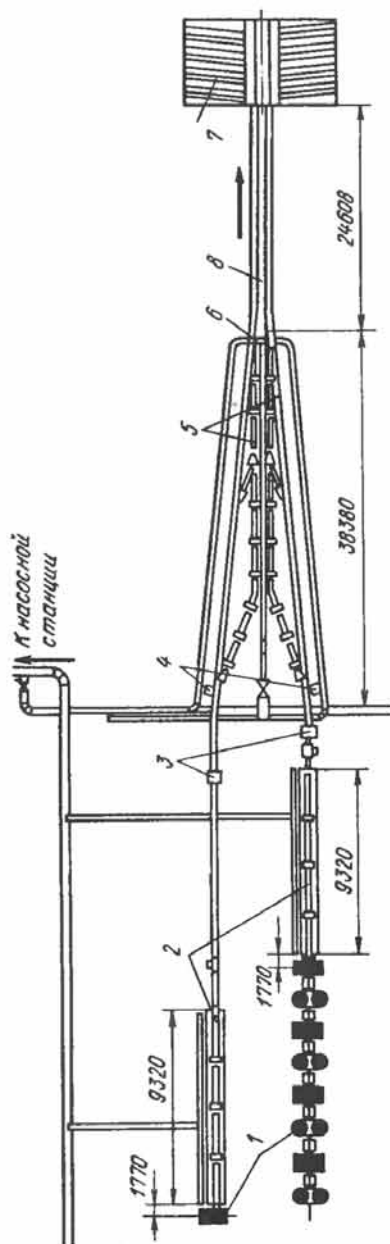


Рис. 102. Линия ускоренного охлаждения мелкосортного стана 250:
1 — чистовые клетки; 2 — устройства предварительного охлаждения; 3 — ножницы; 4 — переводные стрелки; 5 — секции упрочнения проката; 6 — отсекающие форсунки; 7 — холодильник; 8 — металл

имеют следующие механические свойства: $\sigma_B \geq 900-1400$ МПа; $\sigma_{0.2} \geq 600-1200$ МПа; $\delta_5 = 10-13\%$.

3. Ремонт оборудования прокатных цехов

Для обеспечения безаварийной работы оборудования прокатных цехов регулярно проводятся его ремонты.

Ремонт — это комплекс технических операций по исправлению и замене изношенных деталей, а также по общей проверке и наладке машины с целью обеспечения ее нормальной работоспособности.

Существует система *планово-предупредительных ремонтов* (ППР), представляющая собой комплекс организационных и технических мероприятий по уходу, надзору, обслуживанию и ремонту оборудования. Планово-предупредительный ремонт включает следующие виды обслуживания и ремонтов оборудования: внутрисменное межремонтное обслуживание; периодические осмотры и ревизии; периодические текущие ремонты; капитальные ремонты.

Межремонтное обслуживание включает в себя повседневное наблюдение за состоянием оборудования, своевременное регулирование механизмов и устранение мелких неисправностей. Этот вид обслуживания является основным элементом ухода за оборудованием. Его осуществляют цеховой и дежурный ремонтный персонал.

Периодические осмотры и ревизии проводятся для проверки состояния деталей и узлов, недоступных для непосредственного наблюдения при внутрисменном обслуживании. Осмотры осуществляют цеховые ремонтные бригады с участием эксплуатационного персонала под руководством механика цеха. Осмотры проводят в сроки, установленные согласно годовому графику ремонтов в зависимости от условий работы. Результаты записывают в агрегатные журналы. Подъемно-транспортное оборудование осматривают не реже одного раза в 10 дней.

Ревизии отличаются от осмотров более глубокой проверкой состояния оборудования. Объемы и периодичность выполнения ревизий установлены Правилами технической эксплуатации механического оборудования металлургических цехов. В зависимости от назначения механизма, условий его работы

и сложности устанавливаются сроки ревизии от 15 дней до 12 мес.

Текущий ремонт является основным видом ремонта и позволяет обеспечить работоспособность оборудования на длительное время. Текущий ремонт выполняется на месте установки оборудования. При проведении текущего ремонта заменяются или восстанавливаются отдельные изношенные детали, регулируются механизмы, что обеспечивает нормальную эксплуатацию его в межремонтный период. Периодичность текущих ремонтов оборудования устанавливают исходя, главным образом, из проверенных практикой и регламентированных сроков службы изнашиваемых узлов и деталей и проводят в дни плановых остановок оборудования.

Текущие ремонты выполняют цеховые ремонтные бригады под руководством механика цеха с привлечением дежурного персонала.

Капитальный ремонт — это наибольший по объему плановый ремонт, при котором производят полную разборку ремонтируемого оборудования и восстановления его параметров в соответствии с паспортными данными. Капитальные ремонты выполняют на основании данных обследований, ревизии и текущих ремонтов и ведомостей дефектов, составляемых за 6 мес до остановки агрегатов на ремонт.

Периодичность капитальных ремонтов определяется сроками службы базовых деталей и узлов, которые нельзя заменить во время текущих ремонтов, необходимостью ремонтов фундаментов или полной проверки агрегата.

Текущий и капитальный ремонты являются плановыми, причем планируются как периодичность ремонта, так и продолжительность.

Под периодичностью ремонта понимают время работы оборудования, по истечении которого обязательна остановка прокатного стана для проведения текущего или капитального ремонта. Периодичность ремонтов для каждой группы оборудования определяется нормативами, учитывающими конструкцию машины, окружающую среду и т.д.

Продолжительность ремонта — это время простоя оборудования, в течение которого производят сдачу в ремонт, ремонтные работы и приемку отремонтированного оборудования. Продолжительность ремонта определяется в зависимости от объема, сложности и трудоемкости ремонтных работ. Продол-

жительность капитальных ремонтов механизмов прокатных станов подсчитывают по нормам, разработанным для некоторых прокатных станов, в которых по каждому механизму перечислен состав работ, разряд, количество рабочих и потребное время в человеко-часах.

При проведении капитальных ремонтов приняты следующие методы: индивидуальный, узловой и агрегатный.

По методу *индивидуального ремонта* оборудование ремонтирует одна бригада, производя разборку на узлы и детали, ремонт и замену деталей и узлов, сборку, регулировку, выверку, испытание. Этот метод требует длительной остановки оборудования и высокой квалификации слесарей ремонтной бригады.

По методу *узловых ремонтов* оборудование разбирают на узлы, а требующие ремонта узлы заменяют заранее подготовленными и затем производят сборку, регулировку и испытание. Продолжительность ремонта при этом методе значительно меньше, чем при индивидуальном.

По методу *агрегатных ремонтов* оборудование снимают с фундаментной плиты и направляют в ремонтно-монтажный цех для капитального ремонта. На место снятого устанавливают резервное оборудование.

Капитальный ремонт может проводиться в период единовременной длительной остановки всего оборудования цеха либо весь объем капитального ремонта расчлняют на мелкие объемы, которые исполняются в дни плановых остановок цеха для проведения текущих ремонтов (по рассредоточенному графику). Этот график применяется тогда, когда полный объем ремонта крупных агрегатов возможно провести частями в дни плановых остановок на текущие ремонты, что позволяет: сократить простой оборудования при капитальном ремонте; уменьшить объем работ и сократить количество рабочих, занятых проведением ремонта; появляется возможность обеспечить ремонт высококвалифицированной рабочей силой; появляется возможность равномерной загрузки ремонтно-механических и других вспомогательных цехов. При проведении ремонтов по рассредоточенному графику применяют преимущественно узловой и агрегатный методы ремонта.

В проведении ремонта принимают участие ремонтные службы и исполнители ремонтных работ.

При подготовке к ремонту составляется соответствующая

документация, позволяющая определить объем, сложность и трудоемкость ремонтных работ. В результате осмотра оборудования цеховым персоналом по специальным графикам в агрегатных журналах фиксируются узлы, детали, механизмы, требующие ремонта. Зафиксированные в журналах данные служат основанием для составления дефектных ведомостей перед ремонтом. Данная ведомость является документом, необходимым для изготовления тех узлов и деталей, которые требуют замены. Кроме того, составляется ремонтная ведомость, которая является основным документом, определяющим объем ремонта.

После ремонта в течение определенного времени осуществляется испытание оборудования под рабочей нагрузкой. Далее производится прием оборудования после ремонта.

Опробование после текущего ремонта проводит комиссия. В ее состав входят помощник начальника цеха по оборудованию и представители отделов главного механика и главного энергетика. Приемка агрегатов производится после наружного осмотра и опробования в работе в течение смены.

Оборудование после капитального ремонта также принимает заводская комиссия и оформляет это приемно-сдаточным актом.

Контрольные вопросы

1. Что называется прокатным станом?
2. Как осуществляется передача вращения от электродвигателей валкам?
3. Перечислите основные элементы рабочих клетей.
4. Чем отличаются станины открытого типа от станин закрытого типа?
5. По каким признакам классифицируют прокатные валки?
6. В каких случаях применяют стальные и чугунные валки?
7. Как осуществляется профилировка валков с гладкой бочкой?
8. Что такое калибровка валков?
9. Назовите способы переделки валков.
10. Какие подшипники используются в прокатных станах?
11. Как устанавливаются прокатные валки в вертикальной плоскости и по оси?

12. Какое оборудование входит в состав поточных технологических линий?

13. С помощью каких механизмов осуществляется транспортировка металла в прокатных цехах?

14. При помощи каких механизмов осуществляется порезка металла?

15. Назовите способы правки металла и предназначенные для этих способов агрегаты.

16. Что такое дрессировка, как она осуществляется?

17. Какие конструкции механизмов применяют для сматывания и разматывания металла?

18. Какие операции осуществляются на поточных линиях отделки проката?

19. В каких цехах устанавливаются агрегаты термической обработки проката?

20. Что такое система планово-предупредительных ремонтов?

21. Как организуются текущий и капитальный ремонты?

Глава 5. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОДУКТА

Полупродукт—это промежуточный продукт технологического процесса, предназначенный для дальнейшей переработки. В производстве проката полупродуктом являются блюмы, слябы, заготовка. В настоящее время полупродукт получают двумя путями: прокаткой слитков на обжимных и заготовочных станах и непрерывной разливкой на машинах непрерывного литья заготовок.

Обжимные и заготовочные станы являются промежуточным звеном между сталеплавильными цехами и прокатными цехами, производящими готовый прокат. Различают следующие виды обжимных и заготовочных станов: блюминги, выпускающие блюмы квадратного или близкого к нему сечения; слябинги, выпускающие слябы; блюминги-слябинги, имеющие только горизонтальные валки с большой высотой подъема верхнего валка и выпускающие блюмы и слябы; заготовочные станы, выпускающие заготовки квадратного сечения. Технические характеристики современных отечественных обжимных станов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические характеристики современных отечественных обжимных станов

Стан	Число рабочих клеток, шт.	Наибольшая скорость прокатки, м/с	Производительность, тыс. т/год	Исходный материал, слиток, т	Готовая продукция, мм
Блюминг 1300	1	6	6000	13	Блюмы 370 × 370
Блюминг 1250	1	6	6000	14	Блюмы 330 × 330
Блюминг 1150	1	6	3500	12	Слябы 350 × 1600
Слябинг 1150/1250	1	6	6000	38	Блюмы 300 × 300 Слябы 300 × 1900
Непрерывный заготовочный	14	7	5000	Блюмы 370 × 370	Заготовки квадратные 80—200

* Сечение, мм.

Непрерывнолитые заготовки квадратного и прямоугольного сечений производятся на МНЛЗ.

1. Станы для прокатки слитков и заготовок

Современные *блюминги* классифицируются по следующим признакам: по диаметру рабочих валков и их приводу, числу клеток, расположению нагревательных колодцев относительно станowego пролета, характеру движения слитковозов при подаче слитков к клету блюминга, наличию или отсутствию непрерывных заготовочных станов.

По диаметру рабочих валков блюминги делятся на: с малым диаметром валков (800—900 мм), со средним диаметром валков (950—1150 мм) и с большим диаметром валков (1200—1500 мм). В последнее время используются блюминги и слябинги с валками диаметром 1200—1300 мм.

По типу привода валков блюминги бывают с приводом от одного электродвигателя через шестеренную клету и с индивидуальным приводом каждого валка без шестеренной клетки. В связи с увеличением диаметра рабочих валков и массы прокатываемых слитков мощность электродвигателей увеличивается и отдается предпочтение индивидуальному приводу.

По числу прокатных клеток блюминги бывают одноклетевыми, двухклетевыми и многоклетевыми. Наибольшее распространение получили одноклетевые блюминги.

По расположению нагревательных колодцев относительно станowego пролета различают блюминги и слябинги с продольным и поперечным расположением пролета колодцев (рис. 77). Наибольшее распространение получило продольное расположение нагревательных колодцев.

По характеру движения слитковозов при подаче слитков от нагревательных колодцев к приемному рольгангу блюминги и слябинги различают с возвратно-поступательным движением слитковоза по прямому пути и с кольцевым движением слитковозов по замкнутому пути (рис. 73). С ростом производительности обжимных станов в настоящее время применяются кольцевая слиткоподача, когда в одном направлении по замкнутому пути двигаются несколько слитковозов (от 2 до 4).

Также блюминги отличаются по отсутствию и наличию непрерывных заготовочных станов. Если блюминг прокатывает полупродукт больших сечений, непрерывные заготовочные станы за блюмингом не устанавливаются. Если же блюминг обеспечивает заготовками несколько сортовых станов, за ним устанавливаются многоклетевые непрерывные станы, состоящие из отдельных групп клеток.

Слябинги. Это универсальные реверсивные станы, имеющие две пары горизонтальных и вертикальных гладких валков, в которых основное обжатие осуществляется горизонтальными валками. Прокатка металла при этом осуществляется одновременно в вертикальных и горизонтальных валках.

На слябингах вертикальные валки могут располагаться перед горизонтальными валками и за ними. Однако предпочтительным является расположение вертикальных валков за горизонтальными, позволяющее формировать боковые грани сляба в последнем переходе.

Блюминги-слябинги. Эти станы отличаются от обычных блюмингов большей высотой подъема верхнего валка и калибровкой валков. В сортаменте блюмингов-слябингов большое место занимают слябы. Поэтому первый калибр на валках имеет большую ширину в соответствии с максимальными размерами слябов по ширине.

Непрерывные заготовочные станы служат промежуточным звеном между блюмингами и сортовыми станами и способствуют повышению производительности как обжимных, так и сортовых станов. Нагревательных устройств на непрерывных заготовочных станах для промежуточного нагрева блюмов нет,

при деформации используется тепло, полученное металлом в нагревательных колодцах блюминга.

Современными обжимными отечественными станами являются блюминги 1300.

Блюминг 1300 (рис. 103) предназначен для прокатки блюмов сечением $300 \times 300 - 350 \times 450$ мм и слябов до 10–15 % от общего объема сортамента толщиной 100–200 мм и шириной 700–1000 мм из слитков массой 8–13 т со скоростью до 6 м/с.

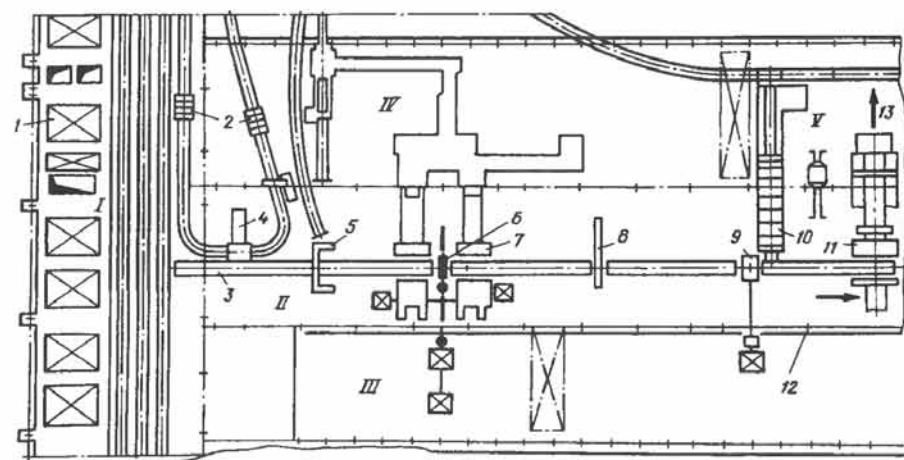


Рис. 103. Схема расположения оборудования блюминга 1300:

I — пролет нагревательных колодцев; II — пролет стана; III — электромашинный зал; IV — скрапный пролет; V — склад блюмов; 1 — нагревательные колодцы; 2 — слитковозы; 3 — приемный рольганг; 4 — сталкиватель слитков; 5 — весы; 6 — рабочая клеть; 7 — манипулятор; 8 — машина огневой зачистки; 9 — ножницы; 10 — конвейер для уборки обрезей; 11 — средства для уборки блюмов; 12 — направление движения блюмов к заготовочному стану; 13 — слябы

Нагрев слитков осуществляется в рекуперативных нагревательных колодцах с верхней горелкой, состоящих из 12 групп по четыре ячейки в каждой. Производительность одной ячейки 120–150 тыс. т/год при загрузке слитков с температурой 800–900 °С.

На стане предусмотрена кольцевая слиткоподача от колодцев к приемному рольгангу. Четыре слитковоза движутся по замкнутому кольцевому пути со скоростью достигающей 5,4 м/с. Слитковоз со слитком, уложенным на горизонтальную платформу, автоматически останавливается у приемного рольганга, и слиток сталкивается с него при помощи стацио-

нарного сталкивателя. Затем осуществляется взвешивание и поворот слитка на 180° весами, расположенными над рольгангом.

Прокатка проводится в рабочей клетке, диаметр валков которых 1300 мм и длина бочки 2800 мм. Каждый рабочий валок снабжен индивидуальным приводом от электродвигателя постоянного тока мощностью 6800 кВт и частотой вращения 0–60–90 мин⁻¹. С передней стороны рабочей клетки расположен кантователь, а манипулятор с обеих ее сторон. Для получения блюмов квадратного сечения необходима кантовка на 90° в процессе обжатия слитка, которая осуществляется через 2–4 пропуска.

В линии прокатки за рабочей клетью установлена машина огневой зачистки (МОЗ). Эта машина предназначена для зачистки на ходу блюмов сечением до 380×450 мм и слябов шириной до 1000 мм и состоит из двух кареток, которые могут перемещаться на катках по рельсам перпендикулярно направлению движения металла. На каретках установлены газорезущие головки с горелками.

За МОЗ установлены ножницы с нижним резом усилием 12 МН, которые управляются ЭВМ посредством датчиков измерения общей длины полосы до резания. При резании ножницами блюмов и слябов на мерные длины обрезки от их головной и хвостовой частей составляют 10–15 %.

Клеймение блюмов и слябов в торец после резки на ножницах осуществляется на ходу автоматическим рычажным клеймителем с дистанционной сменой клейм. После порезки на ножницах и их клеймения слябы сталкиваются толкателем на штабелирующий стол и затем передаются тележкой или краном на склад для охлаждения и зачистки, а блюмы по рольгангу направляются на дальнейшую прокатку на непрерывный заготовочный стан 900/700/500, который установлен непосредственно за блюмингом.

Непрерывный заготовочный стан (рис. 104) состоит из 14 двухвалковых клеток, разделенных на три группы: обжимную, состоящую из двух клеток 900 ($d_b = 900$ мм); первую непрерывную, в составе четырех клеток 700 ($d_b = 700$ мм), и вторую, состоящую из шести клеток 500 ($d_b = 500$ мм). Особенностью стана является чередование клеток с вертикальными и горизонтальными валками во второй и третьей непрерывных группах. После резки на мерные длины горячие блюмы сече-

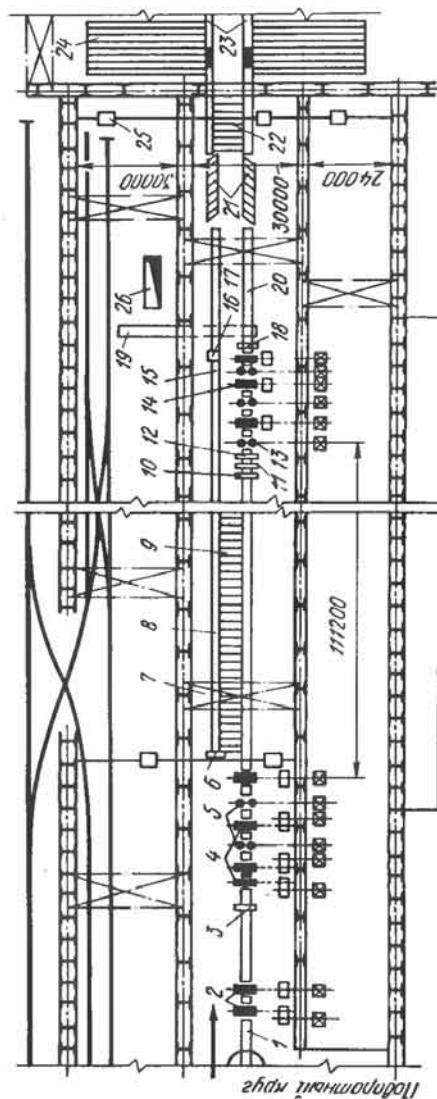


Рис. 104. Схема расположения оборудования непрерывного заготовочного стана 900/700/500: 1, 15, 17, 20, 23 — рольганги; 2 — клети стана 900; 3 — кантователь; 4, 5 — вертикальные и горизонтальные клети первой непрерывной группы; 6 — упор; 7 — отводящий рольганг; 8 — боковой рольганг; 9 — шлеппер; 10, 12 — кантователи; 11 — летучие маятниковые ножницы; 13, 14 — вертикальные и горизонтальные клети второй непрерывной группы; 16 — ножницы с нижним резом; 18 — летучие ножницы; 19 — транспортер обрезаков; 21 — пакетирующий рольганг; 22 — шлеппер; 24 — холодильник; 25 — тельфер; 26 — яма для окислы

нием 370×370 мм поступают по рольгангу в первую клеть со скоростью 0,2 м/с. При необходимости блюм можно повернуть в горизонтальной плоскости на 180° для задачи в клеть 900 концом, в котором нет признаков усадочной раковины слитка.

В первой группе возможно получение заготовок 200×200 , 170×170 и 150×150 мм. Крупные заготовки с отводящего рольганга при помощи поперечного транспортера направляются на боковой рольганг, далее на ножницы и после порезки на мерные длины направляются на холодильник. Заготовки 150×150 со скоростью 2,3 м/с по рольгангу направляются во вторую непрерывную группу клетей для дальнейшей прокатки, где получают заготовки 120×120 , 100×100 , 80×80 . Перед задачей заготовки в девятую клеть передний конец раската отрезают летучими ножницами, а в случае необходимости заготовку кантуют.

После выхода заготовки из последней клети ее разрезают на мерные длины на летучих ножницах, собирают в пачки и направляют на холодильник.

Схема расположения оборудования слябингов сходна с блюмингами. Отличием является наличие универсальной клети вместо двухвалковой рабочей клети. А конструкция оборудования отличается главным образом своими размерами и техническими характеристиками.

Слябинг 1250 рис. 105 предназначен для прокатки слябов толщиной 150–300 мм, шириной 750–1850 мм и длиной 2500–10500 мм массой до 32 т из слитков массой 17,4–37,7 т со скоростью до 5 м/с.

В состав стана входят: кольцевая слиткоподача с не-

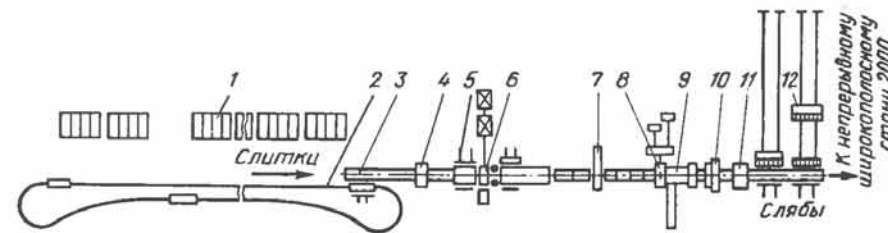


Рис. 105. Схема расположения оборудования слябинга 1250: 1 — нагревательные колодцы; 2 — кольцевая слиткоподача; 3 — приемный рольганг; 4 — весы; 5 — манипулятор; 6 — универсальная рабочая клеть; 7 — МОЗ; 8 — ножницы; 9 — конвейер уборки обрезаков; 10 — клеймовочная машина; 11 — весы для слябов; 12 — устройство для уборки слябов

сколькими слитковозами, движущимися со скоростями, достигающими 5 м/с; весы для взвешивания слитков и их поворота на 180° в горизонтальной плоскости; рабочая клеть с горизонтальными валками диаметром 1250 мм и длиной бочки 2400 мм, приводящимися во вращение от двух электродвигателей постоянного тока мощностью 3750 кВт. каждый, и вертикальными валками диаметром 1000 мм с длиной бочки 2300 мм, приводящимися также от двух электродвигателей постоянного тока вертикального исполнения мощностью 2500 кВт. Раствор валков колеблется в пределах 750–2400 мм; манипулятор, установленный перед рабочей клетью и за ней, состоящий из четырех линеек с их раствором в пределах 700–3300 мм, со скоростью передвижения 0,6–1,2 м/с; кантователь за вертикальной клетью со временем подъема крюков 2 с; МОЗ, предназначенная для зачистки широких и узких граней слабов с глубиной зачистки 0,8–3 мм и скоростью 0,25–1,0 м/с; ножницы с параллельными ножами с нижним резом усилием 28 МН с длиной ножей 2100 мм и их ходом 4500 мм, числом резов в минуту, равным 5–8; двух клеймителей с числом клеймений в минуту, равным 10; рычажные весы для взвешивания готовых слабов грузоподъемностью 40 т. На слабинге предусмотрены также средства для уборки скрапа и окалины, системы смазки и охлаждения механизмов и машин, гидро- и пневмоустройства, электроприводы и системы комплексной автоматизации по отдельным участкам.

2. Технология прокатки на обжимных и заготовочных станах

На блюмингах и слабингах осуществляется прокатка слитков, различных по размерам и массе, что определяется марочным составом стали, изготавливаемым на заводе.

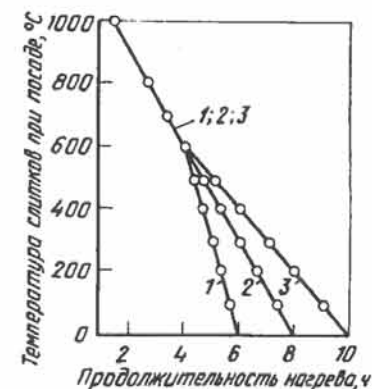
Перед прокаткой осуществляется нагрев слитков в нагревательных колодцах с целью придания металлу высокой пластичности и наименьшего сопротивления его деформации.

Продолжительность нагрева слитков определяется их химическим составом, температурой посада металла в нагревательные устройства и отношением поверхности к их массе.

Продолжительность нагрева сталей с различным содержанием углерода различна. На рис. 106 показано, что слитки низкоуглеродистой стали ($< 0,3\%$ С) нагреваются быстрее,

Рис.106. График нагрева слитков из стали с различным содержанием углерода:

- 1 — низкоуглеродистая сталь;
- 2 — среднеуглеродистая сталь;
- 3 — высокоуглеродистая сталь



чем среднеуглеродистые стали (0,3–0,6 % С), а те, в свою очередь, быстрее, чем высокоуглеродистые ($> 0,6\%$ С). Слитки из легированных и специальных марок сталей нагреваются по особым режимам в зависимости от содержания легирующих элементов, однако слитки из многих легированных марок сталей по своим физическим свойствам могут нагреваться по режимам нагрева для углеродистых сталей.

В настоящее время свыше 90 % слитков в нагревательные колодцы блюмингов и слабингов поступает с температурой 800–900 °С. Такой метод нагрева называется *горячим посадом слитков*. Применение горячего посада значительно экономит топливо и резко увеличивает пропускную способность нагревательных колодцев. Общее время нагрева в этом случае для углеродистых и низколегированных сталей составляет 2–5 ч при массе слитков 7–10 т. При холодном посаде, то есть полностью остывших и затвердевших слитков, общее время нагрева увеличивается до 6–11 ч.

Нагрев слитков в нагревательных колодцах необходимо вести так, чтобы разность температур между поверхностью и центром слитков не превосходила допустимой. Так, для низко- и среднеуглеродистой стали эта разность для 6–7-т слитков при выдаче из колодцев должна составлять $\leq 70\text{--}75^\circ\text{C}$, для остальных сталей $\leq 50^\circ\text{C}$.

В процессе транспортировки к стану и прокатки поверхность слитка интенсивно остывает, а центральные слои сохраняют практически неизменную температуру. В результате возникает перепад температуры по сечению, что приводит к ухудшению условий деформирования, увеличивает донную и

боковую утяжки, ухудшает качество поверхности и увеличивает обрезь.

Нагретые слитки при помощи слитковозов подают к рабочей клетки блюминга или слябинга.

Число проходов, за которые прокатывают слитки, предусматривают технологическими инструкциями. На отечественных обжимных станах стремятся к увеличению обжатий за проход, что приводит к сокращению их числа, а значит, и повышению производительности станов.

Эффективным путем повышения производительности обжимных станов является *технология многослитковой прокатки*, которая используется на отечественных станах. Многослитковая прокатка заключается в последовательной прокатке двух или более слитков, лежащих на рольганге последовательно один за другим. В каждом пропуске второй слиток подается в валки стана непосредственно за первым без паузы или с минимальной паузой. Многослитковая прокатка ведется определенное число пропусков. При достижении раскатами значительной длины каждым в последних пропусках их кантуют порознь, а прокатывают парами или по одному.

Технология многослитковой прокатки обеспечивает уменьшение почти в два раза суммарного времени пауз и некоторое уменьшение машинного времени.

После выхода из клетки полупродукт в технологическом потоке проходит сплошную зачистку поверхности в машинах огневой зачистки. Эта операция полностью механизирована и частично автоматизирована.

Газорежущие блоки МОЗ расположены под углом около 25° к поверхности металла. При движении блоков к металлу автоматически включается подача к соплам блока кислорода и горючего газа — ацетилена, природного или коксового газа, загорающихся от горячего металла. Поверхность металла оплавляется, и в этот момент включается подача режущего кислорода, в котором сгорает металл, благодаря чему температура пламени повышается до $2500\text{--}3000^\circ\text{C}$ и расплавляется поверхностный слой металла. Одновременно включается система гидросбива образующегося шлака водой высокого давления.

Иногда на блюмингах и заготовочных станах вместо МОЗ устанавливают фрезерные многолезцовые станки — термофрезерные машины — для механической зачистки снятием струж-

ки с горячих слитков, блюмов и заготовки. Этот способ является весьма эффективным.

За МОЗ осуществляется обрезка переднего и заднего концов раскатов и порезка их на мерные длины на ножницах. Величина обрезки в зависимости от марки стали и условий кристаллизации со стороны усадочной раковины обычно составляет $12\text{--}14\%$ от массы раската, с донной части $2\text{--}3\%$.

Полученный полупродукт больших сечений может сразу в потоке прокатываться на непрерывных заготовочных станах или передаваться к печам сортовых станов.

Особенностью прокатки металла на непрерывных заготовочных станах с горизонтальными валками является его кантовка неприводными кантующими роликами (рис.107). На этих роликах врезают наклонные калибры по числу калибров,

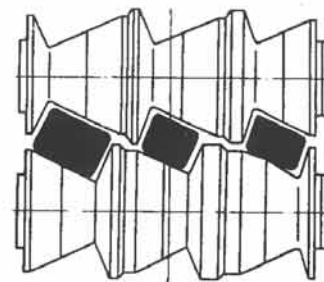


Рис.107. Кантующие ролики

расположенных на рабочих валках. Входя в такой наклонный калибр, передний конец раската скручивается по длине от рабочей клетки до кантующих роликов относительно продольной оси. При входе раската в калибр следующей рабочей клетки кантовка на заданный угол заканчивается. Устанавливаются кантующие ролики в специальных рамах, крепящихся к станинам рабочих клеток на выходе раскатов из последних.

При переходе раскатов из одной непрерывной группы в другую в непрерывных заготовочных станах осуществляется обрезка их передних бракованных концов, так как они мешают задаче в валки. Для этой цели, а также для нарезки длинных раскатов используются летучие ножницы.

3. Калибровка валков и режимы обжатий на обжимных и заготовочных станах

На блюмингах применяют калибровку валков двух типов: с *последовательным* и *симметричным* расположением калибров (рис. 108).

При последовательном расположении калибров раскат передается из калибра в калибр в одном направлении — в одну сторону от кантователя, что повышает темп прокатки и тем самым увеличивается производительность. Однако это приводит к неодинаковому распределению давления на шейки валков. Симметричное расположение калибров имеет ряд преимуществ по сравнению с последовательным расположением калибров. Размещение первого калибра посередине бочки валков дает возможность в первых наиболее загруженных проходах более рационально распределять давление на обе шейки валков, что приводит к равномерному износу подшипников и тем самым увеличивает продолжительность работы подшипников. Однако подавляющее большинство блюмингов имеет последовательное расположение калибров, обеспечивающее более устойчивую их работу, так как симметричное расположение калибров применяют в тех случаях, когда в сортаменте стана преобладают слябы.

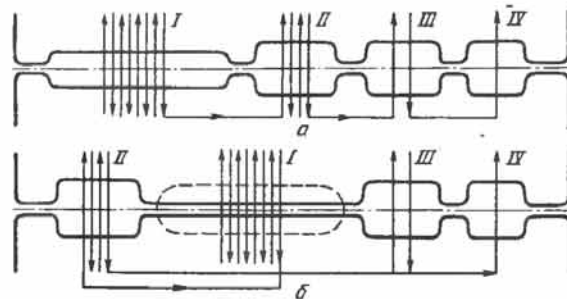


Рис.108. Калибровка валков блюминга с последовательным (а) и симметричным (б) расположением калибров (I—IV — номера калибров)

Для прокатки слитков в валках блюминга обычно вытачивают от трех до пяти калибров. Основным типом калибра валков является *ящичный* или *прямоугольный калибр*, достоинством которого является его простота и обеспечение хорошего захвата металла валками. В ящичном калибре хорошо сбивается и удаляется окалина с боковой поверхности раската. Кроме того, ящичные калибры используются для нескольких проходов при прокатке раскатов с различными раз-

мерами их поперечного сечения, поднимая или опуская верхний валок после каждого прохода. Основные параметры ящичного калибра показаны на рис. 109. Глубина вреза ручья h_p в ящичном калибре должна быть меньше половины наименьшей толщины раската прокатываемого калибра и составлять 0,20—0,45 его высоты. На практике глубина вреза калибров является небольшой и составляет не более 100 мм.

Ширина калибров по их высоте различна. По дну калибра она несколько меньше минимальной ширины раската, задаваемого в калибр:

$$b_k = (0,95 + 1,0)b, \quad (61)$$

где b — ширина раската, мм.

В месте разъема ширина калибра B_k несколько больше максимальной ширины раската, выходящего из калибра:

$$B_k = b + 1,5\Delta b, \quad (62)$$

где Δb — свободное уширение, мм.

Такие b_k и B_k выбираются с целью надежного удерживания раската в калибре и исключения появления заусенцев на боковой поверхности раската.

Для обеспечения устойчивого положения раската на рольганге и облегчения его захвата валками дно ящичного калибра делается выпуклым. Величина выпуклости f равна примерно 5 % высоты калибра.

Углы в ящичных калибрах имеют закругленную форму и составляют:

$$r_1 = (0,12 - 0,20)b; \quad r_2 = (0,08 - 0,12)b, \quad (63)$$

где r_1, r_2 — радиусы закругления углов у дна калибра и разъема.

Как видно из формулы

$$S = (0,02 - 0,08)D, \quad (64)$$

зазор между валками зависит от их диаметра. Наименьший зазор между валками блюминга определяется допустимой степенью износа калибров и упругой деформацией валков в процессе прокатки. В действующих калибровках зазор между валками принимают равным 15 мм. Обжатие слитков на блюминге обычно осуществляется по системе прямоугольник —

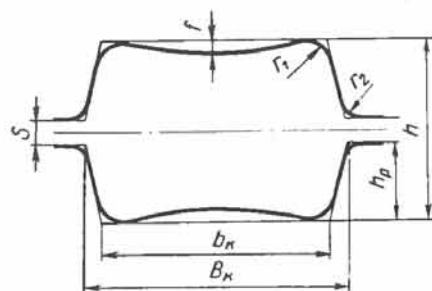


Рис.109. Ящичный калибр и его параметры

квадрат сначала на гладкой бочке, а затем в ящичном калибре.

Основными критериями величины обжатия являются допустимые нагрузки на основное оборудование стана (валки, станины, нажимные винты и т.д.), допустимая загрузка главных приводов и предельные углы захвата. Как правило, при прокатке стали рядовых марок последний критерий является определяющим, поскольку предельные углы захвата, при которых прокатка происходит без пробуксовок, не превышают 28–30°. Применение специальных наварок и насечек дна калибра повышает угол захвата до 32–34°.

Величину максимального обжатия для блюмингов ($\Delta h_{\max}$) можно определить из уравнения:

$$\Delta h_{\max} = D(1 - 1/\sqrt{1 + f^2}), \quad (65)$$

где D — диаметр валков, мм; f — коэффициент трения (для максимальных углов захвата равен 0,5–0,75).

При составлении режима обжатий обычно известны размеры слитка и размеры блюма или сляба.

Суммарное обжатие определяется по формуле

$$\Sigma \Delta h = (B - b) + (H - h) + \Sigma \Delta b, \quad (66)$$

где $(B - b)$ — обжатие одной стороны слитка (рис. 110); $(H - h)$ — обжатие другой стороны слитка; $\Sigma \Delta b$ — суммарное уширение за все проходы.

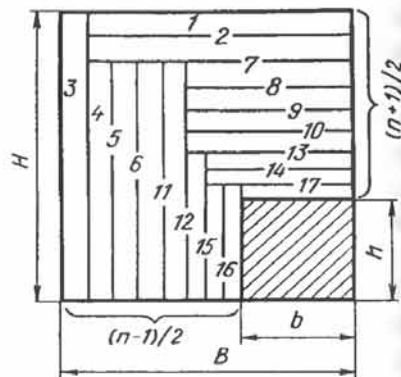


Рис.110. Схема последовательности проходов при обжатии слитка (1, 2, 3–17 — номера проходов)

Для предварительных расчетов можно принять величину суммарного уширения за все проходы

$$\Sigma \Delta b = 0,15[(B - b) + (H - h)]. \quad (67)$$

Тогда суммарное обжатие

$$\Sigma \Delta h = 1,15[(B - b) + (H - h)]. \quad (68)$$

А число проходов определяется по формуле

$$n = \frac{1,15 [(B - b) + (H - h)]}{\Delta h_{\text{ср}}}. \quad (69)$$

Важным при распределении обжатий по проходам на блюминге является число кантовок раската и распределение их по ходу прокатки. При составлении схемы обжатий рекомендуется пользоваться следующими правилами:

первую кантовку проводить после первых двух или четырех проходов;

последующую кантовку — через четное число проходов с таким расчетом, чтобы при прокатке на гладкой бочке отношение ширины полосы к толщине не превышало 1,3, а при прокатке в калибрах 1,7;

последнюю кантовку проводить перед последним проходом.

Для увеличения производительности стана желательно применять возможно меньше кантовок. Однако для получения блюмов высокого качества следует осуществлять кантовку раската как можно чаще (табл. 5).

В зависимости от программы прокатки в одних и тех же валках осуществляется несколько схем обжатий.

В табл. 6 приведен режим обжатий на блюминге 1300 слитка стали СтЗкп.

При прокатке слитков на слябинге высотную и поперечную деформацию осуществляют в гладких валках. В этом случае определение режимов обжатий сводится к расчетам высотной деформации в горизонтальных и поперечной деформации в вертикальных валках. Обжатия в вертикальных валках, как правило, незначительны и предназначены для обработки боковых сторон раската. При прокатке слитков прямоугольного сечения первые два прохода осуществляют в горизонтальных валках в положении "на ребро". В результате устраняется конусность слитка, удаляется с его больших граней окалина и раскат получается требуемой ширины. На слябинге схема

Таблица 5. Схемы прокатки на блюмингах

Схема прокатки	Номер калибров					Всего проходов
	1 (бочка)	2	3	4	5	
I	1,2,3,4	K5,6,7,8	K9	—	—	9
II	1,2K3,4,5,6	K7,8,9,10	K11	—	—	11
III	1,2,3,4,5,6	K7,8,9,10	K11	—	—	11
IV	1,2K3,4,5,6,7,8	K9,10,11,12	K13	—	—	13
V	1,2,3,4K5,6,7,8	K9,10,11,12	K13	—	—	13
VI	1,2	K3,4,5,6	K7,8	K9	—	9
VII	1,2,3,4	K5,6,7,8	K9,10	K11	—	11
VIII	1,2K3,4,5,6	K7,8,9,10	K11,12	K13	—	13
IX	1,2,3,4,5,6	K7,8,9,10	K11,12	K13	—	13
X	1,2K3,4,5,6,7,8	K9,10,11,12	K13,14	K15	—	15
XI	1,2,3,4K5,6,7,8	K9,10,11,12	K13,14	K15	—	15
XII	1,2K3,4,5,6	K7,8,9,10	K11,12	K13,14	K15	15
XIII	1,2,3,4,5,6	K7,8,9,10	K11,12	K13,14	K15	15
XIV	1,2K3,4,5,6,7,8	K9,10,11,12	K13,14	K15,16	K17	17
XV	1,2,3,4K5,6,7,8	K9,10,11,12	K13,14	K15,16	K17	17

Примечание. Знаком K обозначается кантовка раската.

Таблица 6. Режим обжатий слитка стали СтЗкп
размером $\frac{960 \times 825}{895 \times 760}$ массой 12,5 т на блюминге 1300

Номер прохода	Номер калибра	Сечение профиля, мм	Обжатие, мм	Уширение
Слиток		960×825	—	—
1	1	840×825	120	—
2K		740×830	100	5
3		720×755	110	15
4		620×770	100	15
5		530×780	90	10
6K	2	440×790	90	10
7		700×455	90	15
8		610×470	90	15
9		530×480	80	10
10K		450×490	80	10
11	3	400×460	90	10
12K		325×470	75	10
13		350×350	120	25

обжатий составляется по расчетным величинам абсолютных обжатий по проходам, а ширина раската — положением вертикальных валков.

Расчет калибровки валков непрерывных заготовочных станов сводится к выбору системы калибров и расчету режима

обжатий. На непрерывных заготовочных станках применяют главным образом следующие системы калибровок: ящичные калибры, ромб—квадрат и комбинацию этих систем (рис. 111). Ящичные калибры применяются на практике широко.

К недостаткам ящичных калибров следует отнести: невозможность получения правильного квадрата или прямоугольника, что ограничивает область применения калибров прокаткой заготовок сечением 90×90—100×100 мм; кантовку заготовок при проталкивании их в печах сортопрокатных станков; обжатие металла только в двух направлениях.

В отличие от ящичных калибров система ромб—квадрат характеризуется неравномерностью деформации по ширине раската. На валках непрерывных заготовочных станков размещают

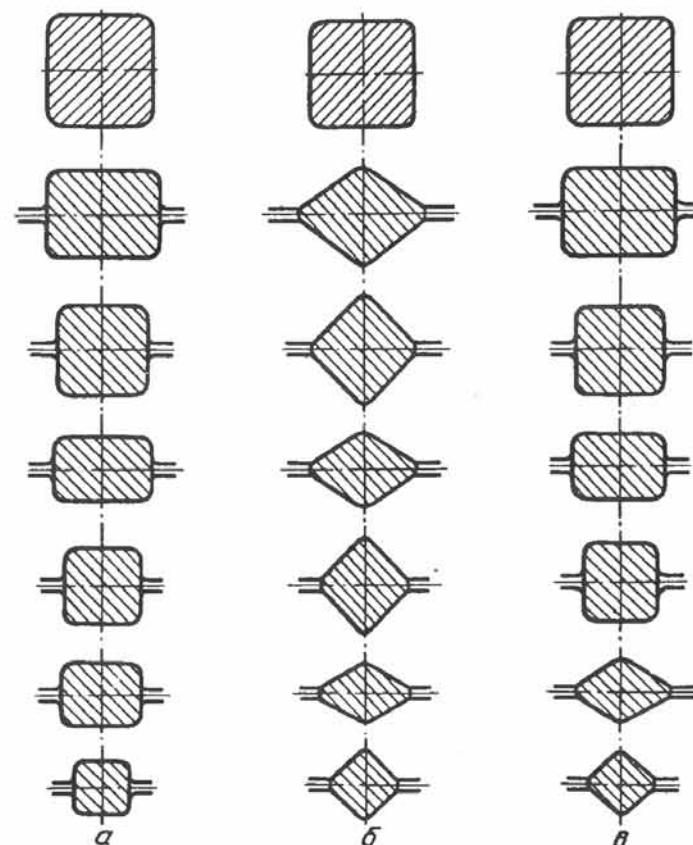


Рис. 111. Схемы калибровок непрерывных заготовочных станков: а — ящичные калибры; б — ромб—квадрат; в — комбинация

от трех до пяти калибров, что позволяет без перевалки прокатывать заготовки различных размеров.

4. Производство блюмов, слэбов и заготовок на машинах непрерывного литья

Производство полупродукта на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является прогрессивным и высокоэффективным процессом производства. Преимущества получения заготовок на МНЛЗ по сравнению с их производством на обжимных станах заключаются в значительном сокращении производственного цикла получения готового проката, а также капитальных затрат и в значительном повышении качества заготовок за счет однородности их строения и резком снижении расхода металла. При этом выход годного непрерывнолитого металла примерно на 20 % выше для углеродистой спокойной стали и на 10–12 % для кипящей стали по сравнению с прокаткой слитков на обжимных станах. А при разливке стали без остановки МНЛЗ, так называемым методом "плавка на плавку", выход годного повышается до 99 %, за счет сокращения отходов металла, связанных с остановками машины.

В настоящее время на МНЛЗ при соответствующем подборе условий процесса кристаллизации разливают стали всех сортов и марок, начиная от малоуглеродистой кипящей и кончая высоколегированной сталью.

Для производства непрерывнолитого металла используются машины непрерывного литья заготовок следующих типов (рис. 112):

вертикальные с поперечной резкой вытягиваемого литого металла в вертикальном положении;

вертикальные с изгибом литого металла и резкой его в горизонтальном положении;

радиальные с постоянным радиусом кривизны зоны вторичной кристаллизации;

горизонтальные с одно- и двусторонним вытягиванием непрерывнолитого металла.

Жидкая сталь на МНЛЗ вертикального типа из сталеразливочного ковша поступает в разогретый примерно до 1200 °С промежуточный ковш, из которого она поступает в кристаллизатор. В этом кристаллизаторе дном служит затравка, которая опускается вместе с кристаллизующимся металлом. В

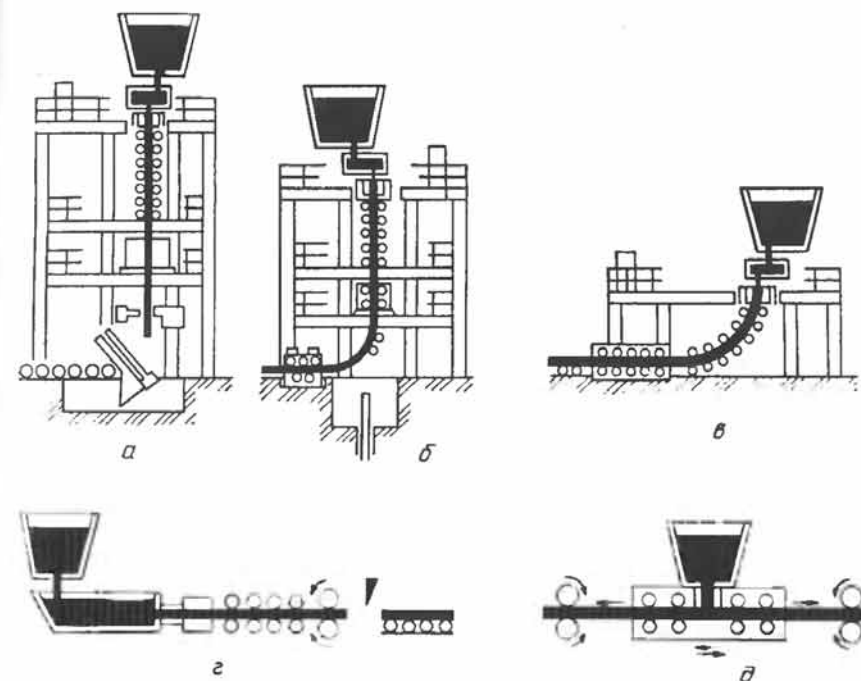


Рис. 112. Типы машин непрерывного литья заготовок: а — вертикальная; б — вертикальная с изгибом; в — радиальная; г — горизонтальная с односторонним вытягиванием литой заготовки; д — горизонтальная с двусторонним вытягиванием литой заготовки

кристаллизаторе, изготовленном из меди, жидкий металл быстро охлаждается, образуя при этом твердую закристаллизовавшуюся корку. Заготовка формируется с размерами, равными размерам кристаллизатора. Кристаллизатор постоянно охлаждается водой, которая циркулирует под давлением между его стенками. Во избежание приваривания жидкого металла к стенкам кристаллизатора ему задается возвратно-поступательное движение по вертикали с амплитудой 15–30 мм. Металл, застывший в кристаллизаторе, сцепляется с затравкой и вытягивается вниз тянущими роликами в зону вторичного охлаждения, где охлаждается водой до полного затвердевания. Затем затвердевший металл, находясь в вертикальном положении, разрезается на мерные длины и подается к прокатным станам.

На МНЛЗ вертикального типа с изгибом на выходе из тянущих роликов передний конец заготовки изгибается до горизонтального положения, где правится и разрезается на

мерные длины. Это позволяет уменьшить высоту машины, упростить в целом весь процесс разливки, повысить его производительность.

На МНЛЗ радиального типа кристаллизатор и направляющие устройства изогнуты по дуге постоянного радиуса, что значительно уменьшает высоту машины. На этих МНЛЗ достигаются более высокие скорости разливки за счет изменения длины участка вторичного охлаждения и высокой степени автоматизации, а следовательно, производительности и качества готовой продукции. Однако при выпрямлении литой заготовки, профиль ее несколько искажается и на поверхности (для некоторых марок сталей) появляются трещины. МНЛЗ обычно имеют несколько ручьев, на которых одновременно отливаются непрерывнолитые заготовки, а число их зависит от емкости сталеразливочного ковша.

МНЛЗ горизонтального типа не требуют высоких зданий и значительно снижают стоимость цехов. Машины с двусторонним вытягиванием металла из кристаллизатора предпочтительнее. В этом случае в кристаллизаторе имеются два фронта кристаллизации, что устраняет дефекты структуры и поверхности слитка, имеющие место при одностороннем вытягивании непрерывнолитой заготовки. На МНЛЗ получают слябы, блюмы и заготовки для дальнейшей обработки на прокатных станах. Получают слябы высотой 120–250 мм, шириной 900–1950 мм, блюмы сечением 280×280 мм и более и заготовки от малых сечений менее 110×110 мм до крупных, сечения которых лежат в пределах от 140×140 до 180×180 мм. Скорость разливки на МНЛЗ в зависимости от ее типа различна. На вертикальных МНЛЗ скорость разливки лежит в пределах 0,5–0,8 м/мин, на криволинейных МНЛЗ скорость разливки выше и составляет 3 м/мин, а на горизонтальных МНЛЗ скорость разливки достигает 25 м/мин.

В целом производительность МНЛЗ зависит от ряда факторов: поперечного сечения разливаемого металла, скорости разливки металла и числа ручьев, на которых одновременно отливается металл.

Дальнейшим повышением эффективности металлургического производства является объединение МНЛЗ и прокатных станов в единый комплекс, позволяющий получать не только заготовки для дальнейшей их обработки, но и готовый прокат. В этом случае значительно сокращается технологический цикл

производства проката (прокатка на обжимных станах, нагрев и отделка металла и др.), исключается значительное количество вспомогательного оборудования (транспортные средства, нагревательные устройства, склады металла и др.), используется внутреннее тепло литых заготовок при обработке их на прокатном стане (исключается нагрев металла, экономятся энергоресурсы), уменьшаются потери металла в окалину (благодаря отсутствию нагрева в печах), сокращаются потери металла при резке заготовок, так как осуществляется по сути бесконечный процесс прокатки, ограниченный массой металла в сталеразливочном ковше.

В общем случае процесс объединения МНЛЗ с прокатными станами можно описать следующей схемой (рис. 113),



Рис.113. Схема совмещения МНЛЗ с прокатным станом

дающей представление о технологическом процессе совмещения и о необходимом наличии металлургического оборудования. На современном этапе полное совмещение МНЛЗ с прокатными станами сдерживается большой разницей скоростей выхода литого полупродукта из МНЛЗ с прокатки этого полупродукта на стане. Для снижения разницы скоростей на совмещенных агрегатах между МНЛЗ и прокатным станом устанавливают специализированные станы интенсивной деформации, позволяющие повысить скорость входа раската в прокатный стан обычной конструкции от 10 до 60 раз. Другой особенностью процесса совмещения является необходимость в подогревательной печи, дающей возможность выравнивать температуру металла по его поперечному сечению. Так как разность температур в центре заготовки и на ее поверхности значительна (200–400 °С) и может привести к образованию дефектов при ее прокатке на стане. В настоящее время на совмещенных агрегатах получают слябы, заготовки квадратного сечения, катанку диаметром 5–12 мм.

5. Дефекты исходного металла и заготовок

Исходным металлом обжимных цехов является стальной слиток, который состоит из кристаллов, неоднороден по плотности, химическому составу, строению и неметаллическим примесям. Эти неоднородности могут быть физическими, кристаллическими, химическими и могут быть причинами брака при производстве проката.

Усадочная раковина (рис. 34) образуется при охлаждении металла в верхней центральной части слитка и имеет различную форму и размеры. При прокатке усадочная раковина приводит к расслоению переднего конца. Во избежание этого после прокатки слитка конец раската, соответствующий протяженности усадочной раковины, обрезают. Чем больше усадочная раковина по длине, тем больше металла идет в обрезь, и тем меньше выход годного. Так, при прокатке качественной и легированной стали обрезь достигает около 20 % массы слитка.

Усадочная рыхлость представляет собой мелкие пустоты, скапливающиеся в центре слитка в результате его неравномерного охлаждения, а также уменьшения объема слитка при охлаждении.

Ликвацией называется химическая неоднородность слитка, заключающаяся в неравномерном распределении примесей по сечению и высоте слитка. Наибольшей склонностью к ликвации обладают сера, фосфор и углерод. Ликвация вызывается неравномерностью кристаллизации. Химическая неоднородность слитка отрицательно влияет на физико-механические свойства металла, а иногда приводит к браку готового проката.

Газовые пузыри представляют собой пустоты внутри слитка, которые образуются вследствие растворимости газов в жидком металле и располагаются под коркой по длине слитка, а иногда выходят на поверхность. При прокатке газовые пузыри обнажаются и могут быть причиной брака, образуя на готовом прокате волосовины, похожие на трещины, иногда довольно глубокие. При прокатке листовой стали пузыри приводят к браку в виде изъеденной поверхности листа.

Трещины на поверхности слитка различают продольные и поперечные. Поперечные трещины образуются в результате зависания слитка при охлаждении из-за неровностей внут-

ренней поверхности изложницы или результате проникновения металла в щель между изложницей и утеплительной надставкой, что также приводит при уменьшении объема металла к зависанию слитка.

Продольные трещины образуются обычно в результате большой скорости охлаждения слитка или в результате слишком быстрого наполнения изложницы металлом, когда тонкая едва застывшая корочка на поверхности слитка не выдерживает большого статического напора жидкой стали.

Плена образуется вследствие разбрызгивания металла при разливке в изложницы. В результате капли металла попадают на стенки изложницы, застывают и окисляются. При заполнении изложницы металлом эти капли привариваются к поверхности слитка, образуя при прокатке плены. Плена на готовом прокате увеличивает количество брака и отходы в обрезь, поэтому ее удаляют зачисткой заготовки. На блюмах и слябах, полученных на МНЛЗ, поперечных трещин и плен не бывает: рабочие поверхности кристаллизаторов хорошо обработаны и не вызывают указанных поверхностных дефектов.

Неметаллические включения представляют собой частицы шлака, попавшие в изложницу из ковша вместе с металлом и не успевшие всплыть кверху при его застывании. Неметаллические включения—это химические соединения: Al_2O_3 , SiO_2 , MnO , FeO , которые образуются в ковше, а также частицы огнеупорных материалов, применяемых для футеровки желоба, ковша и поддона. Все неметаллические включения сильно ухудшают физико-механические свойства готового продукта и могут привести к браку. Находясь на поверхности слитка, они способствуют появлению поперечных трещин и рванин на поверхности блюмов, слябов, заготовок и готового проката.

Рослость образуется при сильном раскислении, когда в сталь вводится избыточное количество раскислителей и создается недостаток кислорода. В результате получается избыток газов, которые не успевают выделиться из слитка и обуславливают его рост. При сифонной разливке, если скорость разливки недостаточна или изложницы высокие и узкие, металл в верхней части изложницы быстро остывает и густеет. Газы, находящиеся в металле, не могут выйти наружу, что приводит к вспучиванию верхней поверхности слитка с образованием нароста с поперечными рубцами.

Усадка является противоположным явлением рослости и

образуется в случае недостатка раскислителей в стали, приводящего к вспениванию металла в изложнице. При последующем более быстром застывании периферийных слоев слитка центральная часть его подвергается усадке. При высокой температуре разлива в стали содержится большое количество газов. В этом случае металл у стенок изложницы остывает быстрее и не поддается усадке. Осевая же часть слитка, более насыщенная газами, продолжает уменьшаться в объеме и опускается, вследствие чего верхняя часть слитка получается с большой усадкой в середине. Ростость и большая усадка слитков увеличивают расход металла на обрезь и приводят к расслоению переднего конца при прокатке на обжимных станах.

К дефектам, возникающим при нагреве слитков, блюмов, слябов и заготовок в нагревательных колодцах и печах, относятся окисление поверхностных слоев и образование окалины, обезуглероживание, перегрев, пережог, которые рассмотрены выше, и внутренние трещины.

Внутренние трещины возникают при ускоренном нагреве слитков большой массы и малой теплопроводности. Они являются результатом возникновения напряжений вследствие большого перепада температур между поверхностными и внутренними слоями. В процессе прокатки неравномерно прогретого слитка внутренние трещины могут выйти на боковые грани раската в виде раскрытых поперечных трещин, называемых "скворечниками". Опасность появления скворечников тем больше, чем больше поперечные размеры слитка. Предупредительной мерой против образования этого дефекта является постепенный и медленный нагрев слитков.

Дефекты блюмов, слябов и заготовок разделяются на дефекты литейного происхождения, которые обусловлены какими-либо дефектами слитков, и дефекты прокатного происхождения, причинами которых являются нарушения в технологическом процессе прокатки.

Волосовины представляют собой мелкие наружные трещины, обычно вытянутые в направлении прокатки, причиной образования которых являются подкорковые пузыри.

Рванины на поверхности блюмов представляют разнообразные разрывы или надрывы металла, которые часто переходят в скворечники, идущие от поверхности внутрь. При прокатке скворечники могут расширяться и углубляться.

Закаты, представляющие собой вдавленные и закатанные заусеницы, часто по внешнему виду похожи на продольные трещины. Если вдавливаются и закатываются всякого рода неровности (например, возвышения), то образуется закат, похожий на плену.

Плены при прокатке образуются от приварившихся капель металла, подкорковых пузырей, плохого раскисления металла и, кроме того, от наслоения на валках и от использования сильно выработанных калибров. *Царапины (риски)* на поверхности заготовок образуются от применения изношенных проводок и выработанных калибров.

Дефекты прокатного происхождения на блюмах, слябах и заготовках вызываются неправильными нагревом слитков, настройкой стана, калибровкой валков, низким качеством валковой арматуры и неправильной ее установкой, износом калибров, неправильными температурными режимами прокатки, охлаждения металла и др.

При прокатке блюмов и заготовок могут встречаться *дефекты профиля*, к которым относятся (рис. 114): *блюмы ромбического сечения*, которые образуются из-за неравномерного нагрева слитка; из-за смещения ручьев, при прокатке в калибре, ширина которого больше стороны задаваемого блюма, или при прокатке раската на ребро с отношением сторон более 1,5, в особенности при малых сечениях;

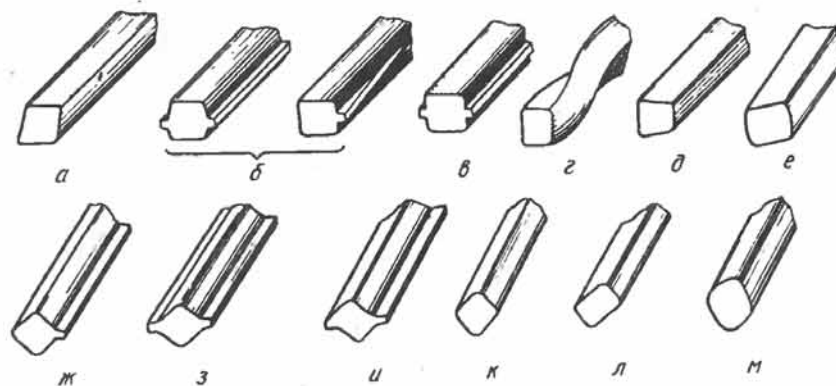


Рис. 114. Дефекты профиля блюмов (а-е) и заготовок (ж-м):

а — блюм ромбического сечения; б — подрез блюмов; в — лампасы (заусеницы) блюмов; г — блюмы-свертыши; д — разносторонность; е — выпуклые бока блюмов; ж, з — односторонний и двусторонний лампас заготовки; и — подрез заготовки; к — невыполнение горизонтальных углов заготовки; л — прямоугольное сечение заготовки вместо квадратного; м — выпуклые бока у заготовки

подрез блюмов и заготовок, возникающий из-за смещения ручьев или задачи раската на бурты; *лампасы* (заусеницы) на блюмах и заготовках, образующихся на двух противоположных сторонах в результате переполнения калибров металлом из-за недостаточного выпуска калибра, когда в нем осуществляют несколько проходов; *блюмы-свертыши*, образующиеся из-за смещения ручьев, перекоса валков, задачи раската на бурты и неравномерного нагрева слитка. На образование свертышей может влиять выпуск калибров и обжатие; *разносторонность и выпуклые бока* блюмов и заготовок, образующиеся из-за наличия неравномерного зазора по крайним буртам валков; *односторонний лампас* на заготовке, получающийся из-за несимметричной установки вводных проводок по отношению к вертикальной оси калибра; *невыполнение горизонтальных углов* заготовки, наблюдающееся, когда металл в недостаточном количестве поступает в данный калибр; *прямоугольное сечение вместо квадратного*, получающееся при прокатке заготовки в квадратном калибре со смещенными ручьями.

6. Производительность обжимных станков

Часовая технически возможная производительность одноклетевого блюминга или слябинга определяется по формуле (52). Так как все проходы производятся в одной клетке, то период прокатки представляет собой время от начала прокатки предыдущего слитка до начала прокатки следующего слитка и определяется формулой (53).

Продолжительность машинного времени для непрерывных станков определяется в соответствии с формулой (54). Однако при прокатке на реверсивных станках число оборотов валков в течение прохода изменяется (рис. 115) и определение скорости прокатки усложняется.

Захват полосы валками происходит при некотором промежуточном числе оборотов n_1 . Затем оно увеличивается до n_2 — наибольшего для данного прохода. Период увеличения числа оборотов валков до n_2 называется *периодом ускорения*. Далее, начиная от n_2 , обороты валков вновь снижаются до нуля. Этот период называется *периодом замедления*. При некоторых оборотах n_3 раскат выходит из валков, или, как говорят, происходит его "выброс".

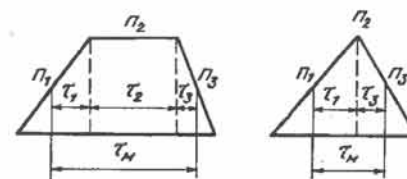


Рис. 115. Диаграмма изменения числа оборотов валков реверсивного стана: n_1 — промежуточное число оборотов; n_2 — наибольшее число оборотов для данного прохода; n_3 — число оборотов при выбросе раската; τ_1, τ_2, τ_3 — время от момента захвата до момента выброса раската из валков

При оборотах n_2 стан может некоторое время работать (на рис. 115 это τ_2). В этом случае полное время прохода

$$\tau_M = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (70)$$

где τ_1, τ_2, τ_3 — время от момента захвата до момента выброса.

При выборе значений n_1 и n_3 следует учитывать возможность достижения времени прокатки в каждом проходе и минимальных пауз между проходами. На практике частота вращения валков при захвате металла часто равняется частоте вращения валков при выходе его из валков и составляет $n_1 = n_2 = 20-40 \text{ мин}^{-1}$. Максимальная частота вращения валков n_2 зависит от длины раската, но обычно отношение $n_2/n_1 = 2-2,5$.

Время τ_1 и τ_3 можно определить, если известно ускорение при увеличении оборотов валков от n_1 до n_2 и замедление при уменьшении оборотов от n_2 до n_3 . Тогда

$$\tau_1 = \frac{n_2 - n_1}{a}; \quad \tau_3 = \frac{n_2 - n_3}{b}, \quad (71)$$

где a — ускорение валков, $\text{об}/(\text{мин}^{-1} \cdot \text{с}^{-1})$; b — замедление валков, $1/(\text{мин}^{-1} \cdot \text{с}^{-1})$.

Скорости прокатки за эти периоды будут равны:

$$v_1 = \frac{\pi D(n_2 + n_1)}{120}; \quad v_3 = \frac{\pi D(n_2 + n_3)}{120}. \quad (72)$$

Максимальное число оборотов n_2 можно определить по формуле

$$n_2 = \sqrt{\frac{ab}{a+b} \left(120 \frac{L}{\pi D_k} + \frac{n_1^2}{a} + \frac{n_3^2}{b} \right)}, \quad (73)$$

где L — длина раската после данного прохода.

Для ориентировочных расчетов производительности блюминга или слябинга можно применять упрощенную методику. Для определения $\Sigma \tau_m$ используется средняя статистическая скорость прокатки, которая на блюмингах лежит в пределах 2,2–3 м/с:

$$\Sigma \tau_m = \frac{\Sigma L_i}{v_{ср}} = \frac{L_0 \mu_{ср} \left(\frac{\mu_{общ} - 1}{\mu_{ср} - 1} \right)}{v_{ср}}, \quad (74)$$

где ΣL_i — сумма длин раскатов после всех проходов; L_0 — исходная длина слитка; $\mu_{ср}$ — средний коэффициент вытяжки за один проход; $\mu_{общ}$ — общий коэффициент вытяжки при прокатке.

Суммарное значение пауз

$$\Sigma \tau_p = (n-1) \tau_{пср} + \tau_{псл}, \quad (75)$$

где n — число проходов; $\tau_{пср}$ — средняя продолжительность пауз между проходами; $\tau_{псл}$ — средняя продолжительность паузы между слитками.

Подставляя в формулу (53) значение $\Sigma \tau_m$, получим часовую производительность стана. Практически часовая производительность будет ниже технической возможной из-за неизбежной потери времени, связанной с различными задержками, нарушающими нормальный ритм прокатки. Следовательно, практически возможная часовая производительность блюминга или слябинга

$$A' = A k_{и} = A(0,9-0,95), \quad (76)$$

где $k_{и}$ — коэффициент использования стана.

Производительность блюмингов и слябингов зависит от многих факторов: массы и размеров слитков, скорости прокатки, диаметра валков, режима обжатий и схемы прокатки, калибровки валков и др. Например, чем больше диаметр валков, тем больше обжатие за проход, меньше число проходов

и в целом ритм прокатки, тем выше производительность стана.

Одним из эффективных направлений повышения производительности блюмингов и слябингов является применяемая на отечественных станах многослитковая прокатка.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются задачи обжимных станов?
2. Укажите схемы расположения оборудования обжимных станов.
3. Назовите способы производства заготовок на металлургических предприятиях.
4. Какие калибры используются при прокатке блюмов и заготовок?
5. Что такое "горячий посад слитков"?
6. Как ведется расчет калибровки валков на обжимных и заготовочных станах?
7. Каковы основные дефекты слитков, блюмов, слябов и заготовок?
8. В чем заключается особенность определения производительности блюмингов и слябингов?
9. От каких факторов зависит производительность обжимных станов?

Глава 6. ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВОГО ПРОКАТА

Производство сортового проката характеризуется весьма широким сортаментом готовой продукции, как по форме поперечного сечения и по размерам (круглая сталь диам. 5–350 мм, угловая сталь с шириной полки 20–250 мм, швеллеры высотой 20–450 мм, широкополочные балки высотой до 1000–1100 мм, рельсы массой до 75 кг/м, узкие полосы и др.), так и по качеству прокатываемого металла (маркам сталей, точности прокатываемых профилей, механическим свойствам, структуре металла при применении различных видов термообработки). Эти обстоятельства обусловили создание большого числа прокатных станов различной конструкции основного и вспомогательного оборудования, его расположения и технических характеристик. Сортопрокатные станы

Таблица 7. Технические характеристики современных сортопрокатных станов

Наименование стана	Число рабочих клеток, шт.	Наибольшая скорость прокатки, м/с	Производительность, тыс. т/г	Исходный материал (масса или сечение), мм	Готовая продукция (размеры в мм)
Рельсобалочный линейный 800	4	4	1500	Блюмы 370×370	Рельсы 38—75 кг/м, балки высотой 200—600
Универсальный балочный 1300	6	10	1500	Блюмы 450×1225	Широкополочные балки высотой <1000
Заготовочный крупносортовый 700	9	—	2100	Непрерывнолитые заготовки 360×360	Круг 80—180, квадрат 70—110
Крупносортовый полунепрерывный 600	17	10	1600	Блюмы 300×300	Круг <120, балки высотой <120
Среднесортный непрерывный 450	16	12	1600	Заготовки 200×250	Круг ≤60, балки ≤30, уголок ≤125×125
Мелкосортный 250	23	20	800	Заготовки 80×80	Круг <30, уголок <40×40
То же	20	25	1000	Заготовки 150×150	Круг ≤42, квадрат ≤36 (в бунтах)
Проволочный непрерывный 150	43	50	400	Заготовки 200×200	Катанка 5—10
Мелкосортно-проволочный	20-и 10-клетевой проволочный блок	20, >100	500 (в том числе 150 катанки)	Непрерывнолитая заготовка 125×125	Круг ≤40, квадрат ≤40, уголок ≤50×50, катанка 5,5—12

по своему назначению условно подразделяют на рельсобалочные и балочные, крупно-, средне- и мелкосортные, проволочные, штрипсовые и комбинированные, к которым относятся среднесортно-мелкосортные, мелкосортно-проволочные и др.

Сортопрокатные станы размещаются на металлургических заводах с полным металлургическим циклом, сразу за обжимными станами или на передельных заводах, а в последнее время на так называемых мини-заводах.

Основные технические характеристики современных сортопрокатных станов приведены в табл. 7.

1. Станы для прокатки сортового проката

На современных *рельсобалочных станах* основным продуктом являются рельсы и балки. Кроме того, на этих станах прокатывают швеллеры, трамвайные рельсы, шпунты, угловую, круглую и квадратную сталь.

Для этих станов с расположением рабочих клеток в две линии (рис. 116) характерно размещение двухвалковой реверсивной клетки в самостоятельной линии. Диаметр валков этой клетки 900—950 мм, длина бочки 2300 мм. Мощность двигателя привода валков около 4000 кВт. Вторая линия состоит из двух черновых трехвалковых клеток и одной чистовой двухвалковой клетки. Черновые трехвалковые клетки имеют валки диаметром 800—850 мм и длиной бочки 1800—1900 мм, а чистовая двухвалковая имеет диаметр также 800—850 мм и длину бочки 1100—1200 мм.

Валки черновых клеток вращаются от реверсивного электродвигателя постоянного тока с широким диапазоном регулирования частоты вращения валков мощностью более 4000 кВт. Валки чистовой клетки приводятся от электродвигателя постоянного тока мощностью около 1800 кВт. Иногда вместо чистовой клетки используют сменную универсальную клетку для прокатки облегченных балок и рельсов.

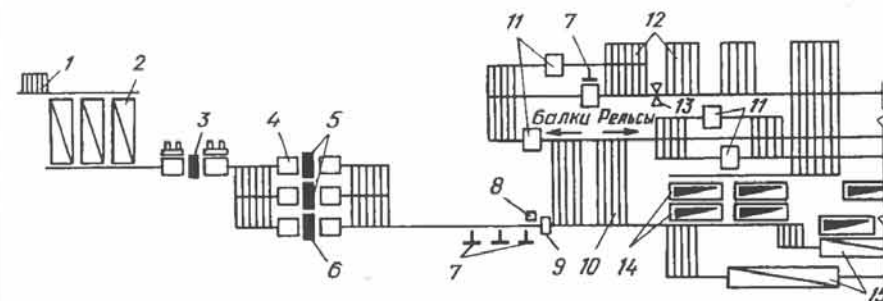


Рис. 116. Схема расположения оборудования рельсобалочного стана 800: 1 — загрузочные решетки; 2 — нагревательные печи; 3 — черновая двухвалковая клетка 900; 4 — подъемно-качающиеся столы трехвалковых клеток; 5 — черновые трехвалковые клетки 800; 6 — чистовая двухвалковая клетка 800; 7 — дисковые пилы; 8 — клеймочная машина; 9 — гибочная машина; 10 — холодильники; 11 — правильные машины; 12 — инспекционные столы; 13 — ножницы; 14 — колодцы замедленного охлаждения рельсов; 15 — нормализационные печи

После чистовой клетки в линии прокатки установлены са-лазковые пилы горячей резки, на которых раскат разрезает-ся на мерные длины по 12, 12,5 и 25 м. В состав стана входят также клеймители, холодильники, гибочные и пра-вильные машины, штемпельные прессы.

Для прокатки широкополочных балок длиной до 30 м с па-раллельными полками высотой от 100 до 1100 мм и шириной от 200 до 420 мм используется универсальный балочный стан, который располагается в комплексе с блюмингом 1500, предназначенным для производства фасонной и прямоугольной заготовки для балочного стана (рис.117).

Собственно универсальный балочный стан состоит из об-жимной клетки, двух промежуточных балочных групп и чисто-вой универсальной клетки.

Обжимная клеть — двухвалковая реверсивная с валками диаметром 1300 мм, длиной бочки 2800 мм. Станины клетки позволяют устанавливать прокатные валки с диаметром по буртам 1700 мм. Клеть оборудована гидросбивом, а также манипуляторами с кантователями, позволяющими получать раскаты длиной до 25 м. Привод валков осуществляется от двух электродвигателей мощностью по 5250 кВт.

Промежуточные группы стана состоят из двухвалковой вспомогательной и четырехвалковой универсальной клетки, которые расположены последовательно. Вспомогательные кле-ти имеют валки диаметром 1250 мм, длину бочки 1300 мм и привод валков от электродвигателя мощностью 3150 кВт. Вспомогательные клетки предназначены для обработки кромок полок. Универсальные клетки (рис.118) имеют сложную конструкцию, обеспечивающую требуемую жесткость, а также возможность установки в них горизонтальных и вертикальных валков в одной плоскости. Клетти выполнены с переменным расстоянием между осями станин, что позволяет применять горизонтальные валки различной длины. Горизонтальные вал-ки имеют диаметр 1350–1500 мм и длину бочки 1500 мм (или 1750; 2050 мм) и привод от электродвигателя мощностью 6300 кВт. Вертикальные валки — неприводные диаметром 950–1100 мм с длиной бочки 450 мм. Горизонтальные валки обрабатывают шейку и внутренние поверхности полок двутавровых профилей, вертикальные — наружные поверхности полок.

Размер валков в чистовой универсальной клетке такой же, 206

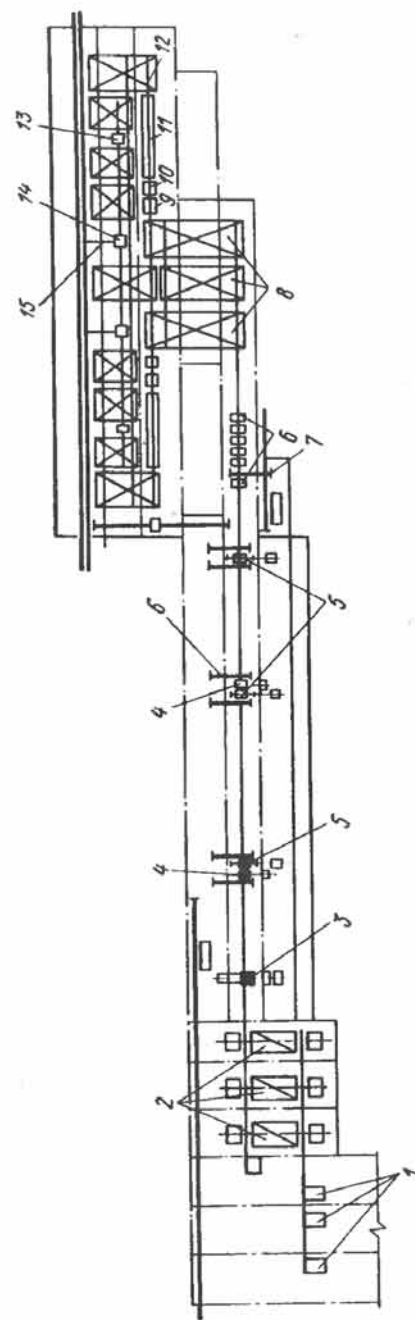


Рис. 117. Схема расположения оборудования универсального балочного стана 1300.

1 — загрузочное устройство; 2 — нагревательные печи с шагающим подом; 3 — обжимная клеть; 4 — вспомогательная двухвалковая клеть; 5 — универсальная клеть; 6 — пилы горячей резки; 7 — устройство уборки обрешетки; 8 — холодильники; 9 — горизонтальная правильная машина; 10 — вертикальная правильная машина; 11 — инспекторский рольганг; 12 — уборочный стеллаж; 13 — правильный пресс; 14 — пила холодной резки; 15 — устройство уборки обрешетки; 16 — устройство для перевалки клетей

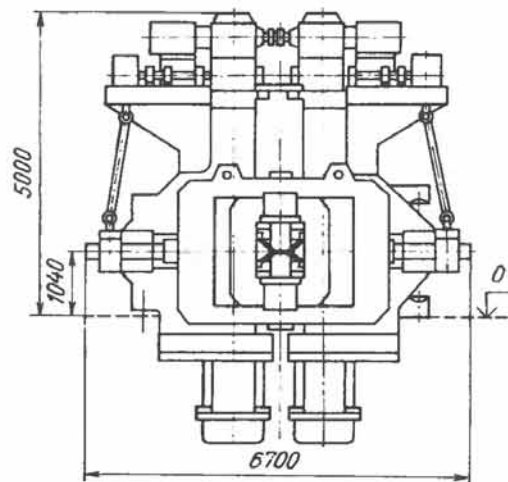


Рис. 118. Общий вид универсальной клетки

как и в других универсальных клетях. Мощность электродвигателя валков чистовой универсальной клетки равна 3150 кВт.

В первой промежуточной группе вспомогательная клеть установлена перед универсальной, во второй — после универсальной. В состав оборудования входят также три нагревательные печи с шагающими балками производительностью по 160 т/ч, шесть пил горячей резки, три холодильника с шагающими балками, правильные машины, инспекторские стеллажи и другое вспомогательное оборудование. Порезка раскатов длиной от 12 до 30 м на штанги с одновременной отрезкой переднего и заднего концов производится двумя стационарными и четырьмя подвижными пилами горячей резки.

Оборудование для отделки, контроля, доотделки и уборки готового проката на склад скомпоновано в два потока, расположенных справа и слева от холодильника. Для правки балок применяются горизонтальные и вертикальные роликотправильные машины. Рядом расположены линии поточного осмотра качества поверхности и размеров профиля.

Наиболее современным является заготовочно-крупносортовый стан 700, предназначенный для прокатки крупносортовых круглых профилей диаметром 80–180 мм, в том числе трубной и квадратной заготовки 70–110 мм из легированных сталей.

Стан имеет в своем составе 9 рабочих клеток, размещенных в трех группах: черновой, промежуточной и чистовой

(рис. 119). В качестве черновой установлена двухвалковая реверсивная клеть, имеющая диаметр валков 1000 мм с длиной бочки 2200 мм. Привод валков осуществляется от двух электродвигателей мощностью 3500 кВт. Клеть оборудована манипуляторами с задней и передней стороны и кантователем.

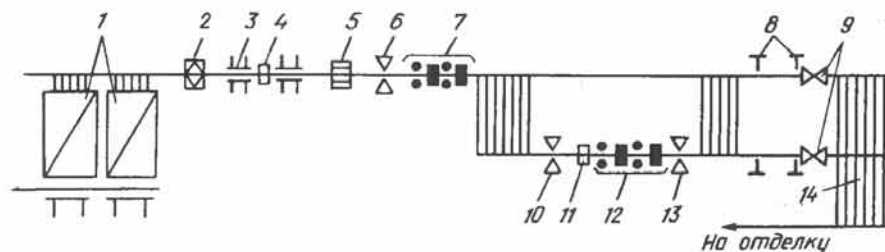


Рис. 119. Схема расположения оборудования заготовочного крупносортового стана 700:

1 — нагревательные печи; 2 — установка гидросбива окалины; 3 — манипуляторы и кантователи; 4 — обжимная реверсивная клеть 1000; 5 — машина огневой зачистки; 6 — стационарные ножницы горячей резки; 7 — первая группа клеток; 8 — пилы горячей резки; 9 — клеймовочные машины; 10 — маятниковые ножницы; 11 — кантователь; 12 — вторая группа клеток; 13 — кривошипные ножницы; 14 — шлеппер для передачи металла в отделение отделки и к холодильникам

Промежуточная непрерывная группа включает в себя две клетки с горизонтальными валками диаметром 800/700 мм и две клетки с вертикальными валками диаметром 820/720 мм. Между черновой клетью и промежуточной группой клеток установлена машина огневой зачистки и ножницы горячей резки усилием 8 МН. После промежуточной группы установлена пила горячей резки. Раскат больших размеров после выхода из промежуточной группы, минуя чистовую группу клеток, передается на отделку. Чистовая группа клеток также состоит из двух клеток с горизонтальными валками диаметром 720 мм и двух клеток с вертикальными валками диаметром 720 мм.

Стан оснащен тремя нагревательными печами, тремя печами гомогенизации и четырьмя печами отжига. Кроме того, в своем составе стан имеет большое количество отделочного оборудования, включающего промежуточный склад, дробеструйную и правильные машины, установки контроля внутренних и поверхностных дефектов, шлифовальные станки, пилы холодной резки, токарнообдирные станки, вязальные машины и другое оборудование.

Для прокатки среднесортных, нормальных и тонкостенных балок и швеллеров с параллельными полками, а также круглой стали диаметром 32–60 мм, квадратной — со стороной 30–53 мм, полосовой — толщиной 9–22 мм и шириной 125–200 мм, угловой — с полками шириной 75–125 мм предназначен 16-клетевой непрерывный среднесортный стан 450. Стан (рис. 120) включает три черновые группы из трех клеток каждая и одну чистовую группу. В каждой черновой группе последовательно установлены горизонтальная, комбинированная, горизонтальная с диаметром валков 630 мм.

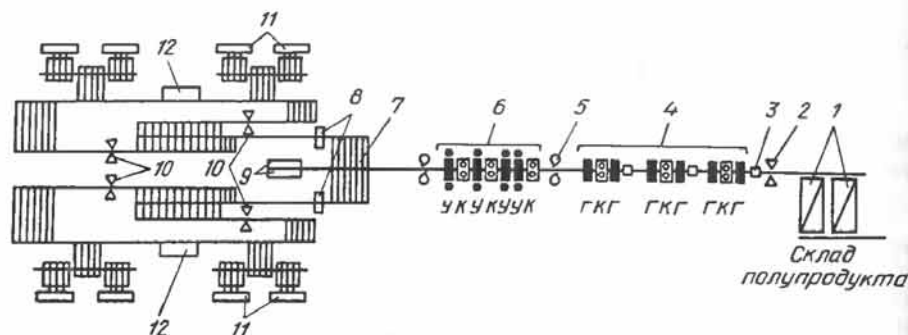


Рис. 120. Схема расположения оборудования непрерывного среднесортного стана 450:

1 — нагревательные печи; 2 — ножницы горячей резки; 3 — кантователь; 4 — черновая группа клеток; 5 — летучие ножницы; 6 — чистовая группа клеток; 7 — холодильник; 8 — правильные машины; 9 — карманы; 10 — ножницы холодной резки; 11 — вязальные машины; 12 — карманы для готового профиля; К — комбинированные клетки; У — универсальные клетки; Г — горизонтальные клетки

Комбинированные клетки в зависимости от прокатываемого профиля могут работать в режиме горизонтальной или вертикальной клетки. Чистовая непрерывная группа состоит из семи клеток 530, в том числе трех комбинированных и четырех горизонтальных. При прокатке балок и швеллеров с параллельными полками горизонтальные клетки заменяются универсальными 900/600. Все клетки стана выполнены жесткой конструкции бесстанинного типа, что позволило уменьшить их габариты и положительно повлиять на компоновку стана в целом. Привод клеток индивидуальный постоянного тока мощностью по 2000 кВт. Такая компоновка клеток позволяет катать все профили без кантовки.

В состав стана входят две нагревательные печи, оснащенные механизмами безударной выдачи заготовок.

Холодильник стана 450 двусторонний с разветвлением к ножницам—штампам для порезки фасонного проката на мерные длины без смятия профиля. За холодильником располагается оборудование адьюстажного участка стана, предназначенного для правки, резки, осмотра в потоке, обвязки, взвешивания и маркировки проката, поступающего с холодильника. Он состоит из двух одинаковых непрерывных линий, расположенных на каждом из двух отводящих рольгангов холодильника.

Из большого числа мелкосортных станов наиболее скоростными, механизированными и автоматизированными являются двухниточные непрерывные мелкосортные станы 250. На этих станах производят основное количество мелкосортного проката.

Двухниточный непрерывный мелкосортный стан 250 состоит из четырех групп клеток: черновой, промежуточной и двух чистовых (рис. 121). Черновая группа состоит из семи рабочих клеток с горизонтальным расположением валков. Промежуточная группа состоит из четырех горизонтальных клеток. В составе каждой из чистовых групп по шесть рабочих клеток с чередующимися вертикально и горизонтально расположенными валками. В чистовой группе клеток прокатку ведут в одну нитку.

Наиболее современным мелкосортным станом является одностропный непрерывный стан 250 (рис. 122), предназначенный для производства проката в бунтах из конструкционных, углеродистых и легированных марок стали следующего

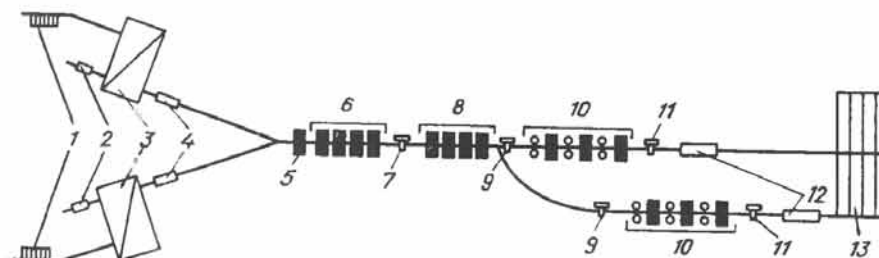


Рис. 121. Схема расположения оборудования непрерывного двухниточного мелкосортного стана 250:

1 — загрузочные шлепперы; 2 — выталкиватель; 3 — нагревательные печи; 4 — вытаскивающее устройство; 5 — трайб-аппарат; 6 — черновая группа; 7 — ножницы для обрезки концов; 8 — промежуточная группа; 9 — аварийные ножницы; 10 — чистовые группы; 11 — летучие ножницы; 12 — установки термического упрочнения; 13 — холодильник

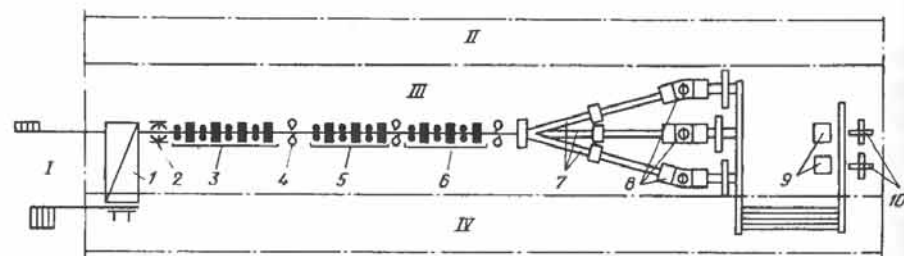


Рис. 122. Схема расположения оборудования непрерывного мелкосортного стана 250:

I — склад заготовок; II — отделение отделки заготовки; III — пролет стана; IV — машинный зал; 1 — нагревательная печь; 2 — установка гидросбива окалины; 3 — черновая группа клеток; 4 — летучие ножницы; 5 — промежуточная группа клеток; 6 — чистовая группа клеток; 7 — установка для ускоренного охлаждения; 8 — моталки с установкой охлаждения сжатым воздухом; 9 — установка для увязки бунтов; 10 — установка для уборки бунтов

ассортимента: сталь круглая диаметром 14–42 мм; сталь квадратная 14×4 — 36×36 мм; сталь шестигранная 14–40 мм. Заготовкой для прокатки служит квадрат сечением 150×150 мм, длиной 8–12 м. Двадцать клеток стана распределены на три группы: черновую, промежуточную и чистовую. Черновая группа состоит из восьми чередующихся клеток с горизонтальным и вертикальным расположением валков с диаметрами валков, равными от 340 до 560 мм, с длиной бочки от 630 до 800 мм. Промежуточная и чистовая группы имеют по шесть клеток — по три с горизонтальными и по три с вертикальными валками. Диаметр валков промежуточной группы равен 320 мм с длиной бочки 500 мм, в чистовой — 250–320 мм с длиной бочки 400 мм. Клетки оборудованы механизмом гидравлического уравнивания верхнего валка, устройством для поперечного перемещения. Рабочие валки вращаются в подшипниках жидкостного трения. Перевалка валков горизонтальных клеток производится клетями, вертикальных — касетками. Суммарная мощность двигателей рабочих клеток составляет в черновой группе 5040 кВт, в промежуточной и чистовой — по 4800 кВт.

Нагрев металла производится в методической печи с шагающими балками, производительность которой составляет 200 т/ч. Перед станом смонтировано устройство для сбива окалины водой с четырех граней заготовки. Между черновой и промежуточной группами установлены кривошипные эксцентрикные ножницы, предназначенные для обрезки передних

концов раската и аварийной порезки. Весь прокат на стане сматывается в бунты наружного диаметра 1400 мм, внутреннего 900 мм, высотой 850 мм. Смотка в бунты осуществляется тремя моталками со скоростью 4,5–27 м/с.

Раскат перед смоткой в бунт между переводной стрелкой и моталками подвергается ускоренному охлаждению в проводковых трубках высокого давления, а после смотки — водовоздушной смесью, где также осуществляется обвязка бунтов.

Двухниточный непрерывный проволочный стан 150 предназначен для производства катанки диаметром 5–10 мм в бунтах массой 2 т из канатных, качественных, конструкционных, инструментальных и других марок сталей из заготовок со стороной 170–200 мм и длиной 6–7 м. Стан состоит из 43 рабочих клеток, расположенных в четырех группах: шести клеток в обжимной, пяти клеток в черновой, по шесть клеток в двух промежуточных и по десять в двух чистовых блоках (рис. 123). Рабочие клетки всех четырех групп являются предварительно напряженными, валки в них вращаются в подшипниках жидкостного трения. Диаметр рабочих валков первых двух клеток 215 мм, остальных — 170 мм.

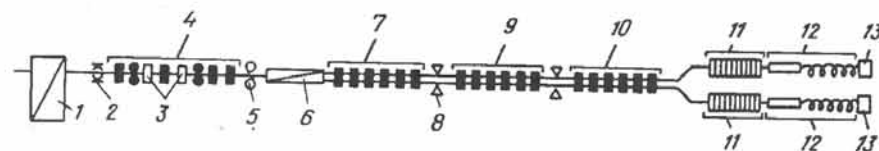


Рис. 123. Схема расположения оборудования непрерывного проволочного стана 150:

1 — нагревательная печь с шагающим подом; 2 — установка для гидросбива окалины; 3 — машины термофрезерной зачистки; 4 — обжимная группа клеток; 5 — летучие ножницы; 6 — двухрядная проходная роликовая печь; 7 — черновая группа клеток; 8 — ножницы; 9, 10 — первая и вторая промежуточные группы клеток; 11 — чистовые блоки клеток; 12 — устройства двухстадийного охлаждения; 13 — устройства для сбора витков и уплотнения бунтов

Обжимная линия, представляющая собой непрерывную заготовочную группу, состоит из пяти горизонтальных клеток. Для сплошной и выборочной зачистки всех поверхностей и ребер заготовок в потоке стана установлена термофрезерная машина. После обжимной группы размещена двухниточная проходная роликовая печь.

За подогревательной печью установлены черновая группа, первая и вторая промежуточные группы, где прокатка произ-

водится в две нитки в клетях с горизонтальными валками. После второй промежуточной группы технологический поток разделяется на левую и правую нитки. Затем прокатка ведется в двух одноплатных десятиклетевых блоках, где горизонтальные клетки чередуются с вертикальными. Прокатные валки в этих блоках представляют собой консольные диски из металлокерамических сплавов. Малый диаметр валков, их высокая износостойкость обуславливают повышение стабильности процесса прокатки и возможность получения катанки высокой точности (рис.124). Прокатка в блоке осуществляется без кантовок с небольшим межклетевым натяжением. Скорость прокатки при производстве катанки диаметром 5 мм после блока возрастает до 50 м/с. После прокатки в чистовом блоке катанка поступает в линию двухстадийного охлаждения, которая состоит из четырех ступеней водяного охлаждения, виткообразователя, пластинчатого транспортера, механизма формирования бунта (рис.125).

Оборудование участка отделки катанки обеспечивает ее прием, формирование бунта, его обвязку, взвешивание и уборку на склад. Катанка, получаемая на стане 150, имеет

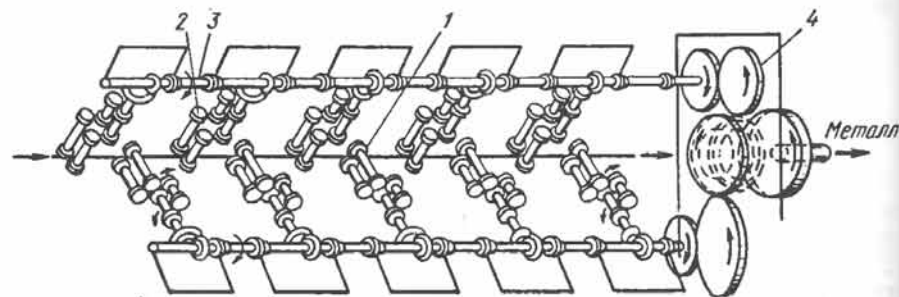


Рис. 124. Схема привода десятиклетевых блоков:

1 — прокатные валки; 2 — шестеренные валки; 3 — трансмиссия; 4 — главный редуктор

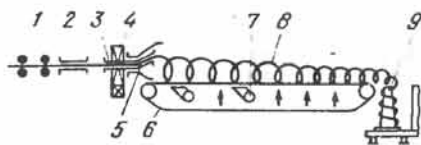


Рис. 125. Схема устройства двухстадийного охлаждения катанки:

1 — последние чистовые клетки проволочного стана; 2 — участок водяного охлаждения катанки; 3 — направляющая труба; 4 — привод трубы-водила; 5 — труба-водило; 6 — транспортер; 7 — вентилятор; 8 — рассеянные витки горячей катанки; 9 — конусные оправки для формирования бунта

небольшое количество легкорастворимой окалины, высокую точность размеров, стабильность механических свойств, хорошую структуру.

В последние годы в нашей стране установлены и функционируют комбинированные сортопрокатные станы, предназначенные для выпуска высококачественного проката общего назначения из непрерывнолитой заготовки. Один из них, *непрерывный мелкосортно-проволочный стан 320/150* включает 20 рабочих клеток сортовой линии и десятиклетевой проволочный блок проволочной линии, оборудован методической комбинированной нагревательной печью с шагающими балками и шагающим подом максимальной производительностью 170 т/ч, односторонним реечным холодильником, устройствами для регулируемого охлаждения и термического упрочнения проката, а также высокомеханизированными линиями отделки (рис.126). Максимальная производительность стана составляет 500 тыс.т проката в год, в том числе 150 тыс.т катанки.

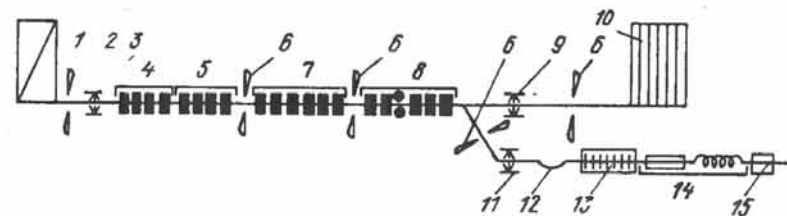


Рис. 126. Схема расположения оборудования мелкосортно-проволочного стана 320/150:

1 — нагревательная печь; 2 — маятниковые ножницы; 3 — устройство для удаления окалины; 4, 5 — клетки черновой группы; 6 — ротационные ножницы; 7 — клетки промежуточной группы; 8 — клетки чистовой группы; 9 — устройство для охлаждения проката; 10 — холодильник; 11 — устройство охлаждения подката для катанки; 12 — петлерегулятор; 13 — блок чистовых клеток; 14 — устройство двухстадийного охлаждения; 15 — устройство формирования и уплотнения бунтов

В сортament стана входят круглая сталь диаметром 10—40 мм, квадратная со стороной 10—40 мм, арматурная № 10—40; угловая с шириной полки от 20 до 50 мм, швеллер № 5 и 6,5 и катанка диаметром 5,5—12,0 мм. Мелкосортная сталь производится в прутках, катанка — в бунтах. Круглый профиль диаметром 10—12 мм может производиться в прутках и бунтах. Прокатные клетки мелкосортной линии стана разделены на черновую, промежуточную и чистовую группы. В черновую группу входят восемь клеток с горизонтальным распо-

ложением валков диаметром 560 (1–4 клетки) и 405 (5–8 клеток) и длиной бочки 1076 и 900 мм соответственно; в промежуточную — шесть клеток также с горизонтальным расположением диаметром 335 мм и длиной бочки 900 мм; чистовую, состоящую из четырех клеток с горизонтальными валками, одной с вертикальными и одной комбинированной клетки. Максимальный диаметр валков группы равен 325 мм, длина бочки горизонтальных валков 850 мм, вертикальной и комбинированной — 650 мм. Десятиклетевой блок чистовых клеток проволочной линии стана с 1-й по 4-ю клетку имеет валки диаметром 210–190 мм, а с 5-й по 10-ю клетку — 159/143 мм.

Рабочие валки стана приводятся от трех соосно установленных электродвигателей постоянного тока суммарной мощностью 5400 кВт. После печи установлен трайб-аппарат для задачи заготовки в первую клетку стана, а за ним маятниковые ножницы для обрезки переднего конца заготовки. Между маятниковыми ножницами и первой клеткой установлено устройство для удаления окалины с поверхности заготовки водой высокого давления около 1,25 МПа. После черновой и промежуточной групп клеток установлены ротационные ножницы для обрезки переднего конца и аварийной порезки раската, ротационные ножницы после чистовой группы — для раскраивания проката на длины, вмещающиеся на холодильник.

После чистовой клетки сортовой линии размещена переводная стрелка, направляющая раскат по отводящей линии к блоку чистовых клеток для прокатки катанки. После блока чистовых клеток размещена линия двухстадийного охлаждения катанки, состоящая из участка водяного охлаждения длиной 45 м, включающего четыре группы охлаждающих секций длиной по 5,8 м, участок выравнивания температуры длиной 12 м и роликового транспортера для воздушного охлаждения катанки длиной 80,3 м.

2. Технология прокатки на сортопрокатных станах

На большинстве сортопрокатных станов технологический цикл производства сортопрокатной продукции в целом одинаков и включает в себя нагрев, прокатку, охлаждение, порезку на

мерные длины, маркировку и уборку. Однако размерные, профильные и качественные различия сортового проката вносят свою специфику и в технологический процесс производства проката.

Технологический процесс на каждом стане имеет свои особенности. Вместе с тем можно отметить черты, присущие всем станам. Во всех клетях, не считая реверсивных обжимных, прокатка осуществляется без изменения направления движения раската, т.е. передний конец раската остается одним и тем же. Температура конца прокатки составляет 1050–1120 °С, а температура начала прокатки — 1160–1180 °С, что благоприятствует достижению больших обжатий во всех клетях и способствует сокращению числа пропусков. Наличие систем регулирования натяжения в непрерывных группах клеток позволяет осуществлять прокатку на всем стане с минимальным натяжением. Сокращение пути транспортировки раската, отсутствие поперечных перемещений, применение современной роликовой вводной и выводной арматуры сводят к минимуму повреждение поверхности раската при прокатке. Все это обеспечивает получение проката повышенной точности с поверхностью хорошего качества.

На современном рельсобалочном стане (см. рис. 116) при прокатке рельсов нагретые до 1180–1200 °С блюмы с сечением 250×250 — 300×300 мм выдаются из печи и поступают к реверсивной клетке, где прокатываются за 5–7 проходов в ящичных и тавровых калибрах. После этого раскат последовательно поступает в первую и вторую черновые трехвалковые клетки с рельсовыми калибрами. Последний проход производится в чистовом калибре двухвалковой клетки. Температура конца прокатки 900 °С. Прокатанный металл разрезается на мерные длины передвижными дисковыми салазковыми пилами. После порезки рельсы клеймятся на клеймовочной машине. Далее рельсы поступают в роликогибочную машину, где в двух горизонтальных и двух вертикальных роликах осуществляется их загибка на подошву, а затем поступают на холодильник. На всех современных рельсобалочных станах рельсы подвергаются замедленному охлаждению или изотермической выдержке для предотвращения образования флокенов. Замедленное охлаждение рельсов осуществляется в колодцах. Более эффективным способом предотвращения образования

флокенов является изотермическая выдержка в печах. Режим обработки следующий: подстуживание рельсов до 350 °С, посадка в печь при 650 °С, выдержка 2 ч. Применяется также нормализация. Продолжительность нагрева в нормализационных печах равна примерно 30 мин. После нагрева при 860–880 °С рельсы выдают на воздух для охлаждения или направляют в сорбитизационную машину для закалки поверхности катания рельсов по всей длине.

После замедленного охлаждения или изотермической выдержки рельсы поступают на центральный холодильник, где охлаждаются до 50–60 °С, и затем подаются к двум роlikоправильным машинам, а оттуда на четыре правильных вертикальных штемпельных прессы для окончательной правки. Отделка рельсов производится на нескольких поточных линиях и состоит из правки на роlikовых правильных машинах и вертикальных штемпельных прессах, фрезеровки торцов и сверления отверстий. Для увеличения прочности и износоустойчивости рельсов после фрезерования и сверления их концы закаливают токами высокой частоты. Твердость закаленных концов по Бринеллю должна быть в пределах HB 300–400.

Для объемной закалки в пакетах по 8–11 штук в положении "лежа на боку" рельсы поступают к закалочной печи. Затем нагретые рельсы по одному подаются в закалочную печь, где при температуре 850 °С погружаются в подогретое до 50–60 °С масло, после чего подаются в печь отпуска (отпуск осуществляется при 450 °С в течение 2 ч). После отпуска рельсы охлаждаются и правятся в комбинированной роlikоправильной машине в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Далее рельсы поступают на инспекторские стеллажи для их приемки и маркировки. Принятые рельсы пакетируются на специальном устройстве и передаются на склад или непосредственно в вагоны для отгрузки.

Двутавровые балки, швеллеры и другие профили, прокатываемые на рельсобалочном стане, после порезки на салазковых пилах на мерные длины складываются на холодильнике и поступают в специальное отделение, где подвергаются правке на роlikоправильных машинах и горизонтальных правильных прессах. Резка проката на мерные длины и вырезка брака после осмотра на инспекторских стеллажах производится ножами холодной резки.

На универсальном балочном стане (рис. 117) нагрев заготовок производится в трех методических пятizonных нагревательных печах с шагающим подом, торцевой загрузкой и выдачей металла. По режиму нагрева металл делится на три группы: 1) углеродистые стали с содержанием углерода до 0,30 %; 2) углеродистые стали с содержанием углерода до 0,30–0,45 %; 3) низколегированные стали марок 09Г2, 09Г2Д, 14Г2, 10ХСНД и др. Нагретая заготовка перед обжимной клетью подвергается гидросбиву окалины. В зависимости от сечения заготовок и размеров двутавров прокатка в обжимной клетке производится за 5–11 пропусков при температуре конца прокатки не ниже 1150 °С. В зависимости от размеров двутавров в промежуточной группе клеток прокатка производится в реверсивном режиме за 5–7 пропусков, а в предчистовой группе клеток – за 3–5 пропусков и в чистой клетке – за один пропуск. Перед каждой универсальной группой клеток предусматривается гидросбив окалины. Максимальная скорость прокатки в чистой клетке составляет 12 м/с. На стане осуществляется последовательная прокатка в клетях, расположенных в одну линию, без применения раскатных полей и поперечного перемещения раската. Прокатка в универсальных клетях осуществляется по схеме, показанной на рис. 127.

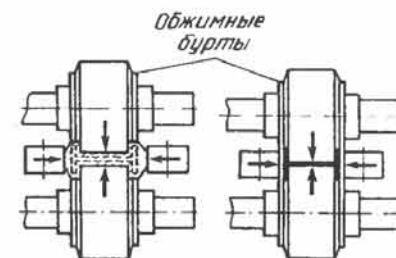


Рис. 127. Схема прокатки широкополочных балок в универсальных клетях

Для получения требуемых механических свойств проката температура конца прокатки на стане находится в пределах 750–900 °С.

Порезка раскатов с одновременной обрезкой переднего и заднего концов производится двумя стационарными и четырьмя передвижными пилами горячей резки при температуре металла не ниже 700, 800 и 900 °С соответственно при толщине стенки до 7,7–12 и более 12 мм. После правки на горизонтальной и вертикальной роlikоправильных машинах

балки поступают на линии поточного осмотра качества поверхности и размеров профиля, оборудованные кантователями для кантовки на 180°.

Исходным металлом заготовочного крупносортового стана 700 являются непрерывнолитые заготовки с поперечным сечением 300×360 мм, длиной 12 и 6 м, развесом 10,4 и 5,2 т.

Печи нагрева с системами управления обеспечивают качественный нагрев металла до температуры прокатки 1250 °С с неравномерностью прогрева по длине и поперечному сечению заготовки до 20 °С. Средняя производительность каждой печи составляет 150 т/ч. Для шарикоподшипниковых марок сталей нагрев металла обеспечивается до 600 °С, с последующим нагревом с максимальной скоростью до температуры 1250 °С.

Печь гомогенизации может работать в двух режимах: как печь гомогенизации и как печь нагрева.

Нагретый металл подается к установке гидросбива одновременно со всех сторон заготовки, а затем на рабочий рольганг реверсивной клетки. Прокатка на размер сечением 230×230 мм выполняется за 5, а сечением 190×190 мм — за 7 проходов, а некоторых сталей с низким содержанием углерода в раскаты с сечением 190×190 мм за 5 проходов. После выхода из клетки металл подается к машине огневой зачистки, где удаляется поверхностный слой металла одновременно с четырех сторон глубиной до 2,2 мм. Все раскаты подвергаются обрезке концов, а в аварийных случаях — делению на части на стационарных ножницах горячей резки.

Металл из шарикоподшипниковых марок стали после выдачи из нагревательных печей направляется по отводящему рольгангу в обратную сторону и с помощью передаточного шлеппера передается на загрузочный рольганг, после чего загружается в печь для гомогенизации. Далее прокатка осуществляется в промежуточной и чистовых группах клеток стана. Для некоторых марок сталей предусматривается прокатка с температурой выхода из чистовой группы равной 850–900 °С, для чего металл между группами охлаждается на воздухе до необходимой температуры. Затем на пилах горячей резки металл режется на части длиной 9–12 м и после клеймения подается на холодильник для охлаждения до 600 °С. При этой температуре металл загружается в отжигательные печи, которые работают в проходном или в садочном

режиме в зависимости от ритма работы печи гомогенизации или прокатного стана, марки стали или размера заготовки. После выдачи из отжигательных печей металл подается на холодильник. Поступающие с холодильников заготовки через отводящий рольганг передаются на промежуточный высотный склад, для промежуточного поплавочного хранения продукции.

На участках отделки осуществляется 100 %-ная отделка готовой продукции с контролем внутренних и поверхностных дефектов, правкой, снятием окалины, сортировкой, зачисткой, пакетированием, маркировкой и обвязкой готовых пакетов.

На современном среднесортном стане 450 (рис. 120) выданные из печи машиной безударной выдачи заготовки транспортируются к ножницам горячей резки усилием 4 МН для раскроя на заданные длины. Между ножницами и первой клетью установлена МОЗ, предназначенная для сплошной зачистки со скоростью 0,3–0,75 м/с заготовок сечением 150×150 и 150×200 мм длиной 9,5–12 м из углеродистых качественных конструкционных и легированных марок стали. Температура металла перед зачисткой должна быть не ниже 1120 °С. Глубина зачистки устанавливается в зависимости от глубины залегания пороков в металле и определяется с учетом температуры металла, чистоты режущего кислорода, скорости зачистки, сечения заготовки и др.

На стане предусмотрено двухстадийное охлаждение металла: на первой стадии охлаждение металла от температуры конца прокатки ~1050 °С до 800–850 °С в секции, установленной между катающей клетью и летучими ножницами; на второй — охлаждение до 600–650 °С за летучими ножницами.

За холодильником стана располагается оборудование адъюстажного участка стана, прокат, поступающий с холодильника, правится, режется, осматривается в потоке, обвязывается, взвешивается и маркируется. Участок состоит из двух одинаковых непрерывных линий, расположенных на каждом из двух отводящих рольгангов холодильника. Каждая непрерывная линия имеет участок правки и распределительную линию, разделяющую металл на два потока, в каждом из которых имеются контрольно-пакетировочный участок в линии укладки.

Металл режется ножницами холодной резки усилием 630 т

с верхним резом, увязывают пакеты металла ленточными вязальными машинами. После обвязки и взвешивания пакеты металла мостовыми кранами укладываются на специальные стойки — стеллажи склада готовой продукции.

В настоящее время строительство и реконструкция мелко-сортных, мелкосортно-проволочных и проволочных станов предусматривает использование нового оборудования с целью получения высокого уровня и однородности физико-механических свойств готового проката, качества поверхности и точности размеров профиля. На станах обеспечивается непрерывность процесса прокатки, повышение производительности станов, компактность и малогабаритность оборудования, низкие простои и эксплуатационные расходы.

Одним из таких станов является непрерывный мелкосортный стан 250-6 (рис.122), который предназначен для производства сортовых профилей в тяжелых бунтах до 2,1 т повышенного качества по точности профиля, чистоте поверхности и величине обезуглероженного слоя.

Процесс прокатки осуществляется в одну нитку, без скручивания между клетями. В черновой группе клетей металл прокатывают с небольшим натяжением, в промежуточной и чистовой группах с петлеобразованием, которое поддерживается автоматически петлерегуляторами. Нагрев заготовок производят в пятизонной методической печи с шагающими балками. Печной рольганг обеспечивает поштучную выдачу годных заготовок из печи к прокатному стану. Перед станом осуществляется гидросбив окалины с заготовок водой давлением 13—15 МПа. Передние концы заготовок и аварийная порезка раската осуществляется летучими кривошипными ножницами, установленными после черновой, промежуточной и чистовой групп.

В составе стана имеется участок роспука бунтов для поставки продукции в прутках длиной до 6 м. На адьюстаже стана установлена проходная печь для термической обработки подката в бунтах массой до 2 т. Стан имеет в составе отделения автоматической дефектоскопии и отделки заготовки. Линия дефектоскопии оборудована магнитографическим и ультразвуковым дефектоскопами для автоматического и непрерывного контроля поверхностных и внутренних дефектов заготовок, а также устройством "Магнетест" для отсортировки заготовок из различных марок стали. В линии дефек-

тоскопии заготовки последовательно проходят правку на семивалковой правильной машине, очистку поверхности от окалины на дробеметной установке, контроль поверхностных и внутренних дефектов, маркировку красками. Далее заготовки поступают на механизированные обдирочно-шлифовальные станки, где подвергаются сплошной или выборочной зачистке (16 станков), а затем передаются в пролет склада заготовок.

Двухниточный проволочный стан 150 производит катанку диаметром 5—10 мм в бунтах массой до 2 т. При производстве катанки диаметром 5 мм скорость прокатки на выходе катанки из стана достигает 50 м/с. Оборудование стана рассчитано на возможность повышения скорости до 60 м/с. Точность катанки обеспечивается в пределах $\pm 0,1$ — $0,2$ мм при овальности не более 0,2 мм. Заготовки нагреваются в однорядной методической печи с шагающим подом до 1150—1200 °С. После выдачи из печи, попадая в обжимную линию, заготовки подвергаются сплошной или выборочной зачистке поверхности на термофрезерной установке, что создает необходимые условия для производства катанки ответственного назначения из заготовки с чистой и свободной от обезуглероживания поверхностью. На установке сечение фрезеруемых заготовок составляет — 150×150 — 200×200 мм; скорость фрезерования находится в пределах 0,4—0,6 м/с, температура обработки заготовки равна 1100—1150 °С, а глубина фрезерования находится в пределах 0,5—3,0 мм.

После обжимной группы раскат поступает в проходную роликовую печь с двухниточным подом, где поддерживается температура заднего конца раската.

Прокатка в черновой, первой и первой промежуточной группах клетей ведется в две нитки. После второй промежуточной группы происходит разделение технологического потока на правую и левую стороны стана. Затем прокатка ведется в двух однотипных десятиклетевых чистовых блоках. В начале каждой нитки имеется участок водяного охлаждения, позволяющий регулировать температуру раската, задаваемого в блок. После прокатки в чистовом блоке катанка поступает на линию двухстадийного охлаждения (рис.125).

На первой стадии катанка охлаждается водой от температуры конца прокатки до приблизительно 750 °С со скоростью от 4—5 до 10—12 °С/с. При этом перепад температуры по се-

чению катанки в конце процесса охлаждения должен быть минимальным либо равен нулю.

На второй стадии с целью получения сорбитной структуры металла охлаждение катанки осуществляется воздухом до 200–100 °С прохождением витков катанки на движущемся транспортере. Исходной заготовкой на мелкосортно-проволочном стане 320/150 Белорусского металлургического комбината, как для сортового проката, так и для катанки является непрерывнолитая заготовка поперечного сечения 125×125 мм, длиной 11250–12000 мм и массой около 1400 кг.

На стане применяются два варианта посадки заготовок в комбинированную методическую нагревательную печь с шагающими балками и шагающим подом с боковой загрузкой и выдачей: горячий посад с температурой 780–800 °С, когда разрезанные непрерывнолитые заготовки подаются непосредственно с МНЛЗ, и холодный посад.

Заготовка, выданная из печи, задается трайб-аппаратом в первую клеть стана, а при необходимости у заготовки обрезаются передний конец маятниковыми ножницами. После ножниц с заготовки удаляется окалина водой высокого давления ~125 кН/м². Прокатка в черновой и промежуточной группах ведется с минимальным натяжением раската между клетями, в чистовой группе в межклетевых промежутках установлены петлерегуляторы, позволяющие в зависимости от прокатываемого профиля организовать как горизонтальные, так и вертикальные петли. После черновой и промежуточной групп клетей осуществляется обрезка переднего конца и аварийная порезка раската установленными в этом месте ротационными ножницами. После чистовой группы также осуществляется порезка раската на длины, вмещающиеся на холодильник. Перед холодильником прокат подвергается термическому упрочнению. Односторонний реечный холодильник принимает прокат, поступающий со скоростью 12–20 м/с. Ускоренное охлаждение металла и увеличение пропускной способности холодильника достигается при помощи вентиляторов, установленных под решетками выходной стороны, и создания потока воздуха объемом 26000 м³/ч против направления перемещения проката. Далее на столе-накопителе формируются пакеты проката, которые переключиваемым устройством передаются на отводящий рольганг холодильника.

От первой клетки сортовой линии раскат переводной

стрелкой направляется по отводящей линии к блоку чистовых клетей для прокатки катанки. Прокатка в блоке осуществляется из подката диаметром 18,5 или 17,0 мм. При регулировании скоростного режима прокатки задающей является клеть 20 сортовой группы. Скорости клетей чистового блока жестко связаны между собой. После блока чистовых клетей катанка подвергается двухстадийному охлаждению. Участок водяного охлаждения длиной 45 м состоит из четырех групп охлаждающих секций и отсекаелей (по четыре секции в группе) длиной по 5,8 м и участка выравнивания температуры длиной 12 м. Температура катанки после первой стадии охлаждения (на виткоукладчике) 750–800 °С. Дальнейшее охлаждение катанки происходит в витках на роликовом транспортере длиной 80,3 м.

Для сортопрокатных станов в настоящее время характерно совершенствование как основного, так и вспомогательного оборудования и на его базе разработка и внедрение новых ресурсосберегающих и эффективных технологических процессов, позволяющих получать прокат в достаточном количестве, необходимого поперечного сечения, высокой точности геометрических параметров профиля и механических свойств металла и качества поверхности.

В состав непрерывных сортопрокатных станов в качестве обжимных клетей устанавливаются *клетки интенсивной деформации*, позволяющие за один проход получать значительные коэффициенты вытяжки металла, достигающие 10–25-кратного значения. Высокая вытяжка позволяет передать на них максимальную работу по обжатию металла и тем самым повысить производительность станов, а в остальных клетях стана более качественно осуществлять формирование профиля проката. На сортопрокатном стане 350/250 электрометаллургического завода в качестве обжимной клетки установлена клеть винтовой прокатки. Процесс прокатки, осуществляемый в этой клетке, получил название "*радиально-сдвиговая прокатка*" (РСП). В этой клетке металл деформируется тремя рабочими вальками, вращающимися в одном направлении и расположенными вокруг оси прокатки через 120° (рис.128). При этом угол подачи, т.е. угол между осями валков и заготовки, должен составлять 20–30°. В этом случае интенсивные сдвиговые деформации действуют по всей глубине заготовки и она прорабатывается по всему сечению. Процесс

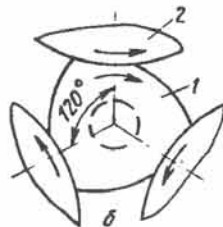
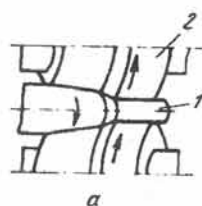


Рис. 128. Схема очага деформации стана радиально-сдвиговой прокатки (а) и его поперечное сечение (б): 1 — металл; 2 — валки

РСП позволяет из литой структуры заготовки получить мелкозернистую, равномерно распределить карбидные составляющие по всему металлу, повысить пластичность металла в 1,8–2,5 раза по сравнению с продольной прокаткой, а также получить высокое качество поверхности и точность геометрических размеров заготовки.

Совершенствование процесса непрерывной прокатки выразилось в организации на мелкосортных станах *бесконечной прокатки*, которая заключается в прокатке свариваемых встык отдельных заготовок и, таким образом, получения заготовки (плети) практически бесконечной длины. В этом случае устраняются все неполадки, связанные с захватом каждого переднего конца раската валками: динамические удары в линии рабочей клетки и связанные с ними преждевременный износ, а порой и поломки деталей привода рабочих валков, оковывания, застревания раскатов. При бесконечной прокатке отсутствуют паузы между отдельными раскатами, а режим прокатки стабилен, без переходных процессов в электроприводах клеток. Это позволяет улучшить качество проката, значительно увеличить производство проката на стане, снизить расход металла, автоматизировать процесс производства, уменьшить поломки оборудования и связанные с этим простои стана.

На рис. 129 приведена схема расположения оборудования стана бесконечной прокатки. Выданная из печи заготовка

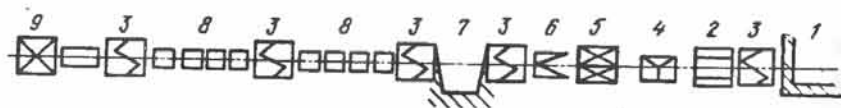


Рис. 129. Схема участка сварки заготовок на мелкосортном стане 250 бесконечной прокатки:

1 — нагревательная печь; 2 — окатиломатель; 3 — трайб-аппараты; 4 — сварочная машина; 5 — гратосниматель; 6 — корректирующее устройство; 7 — петлевой колодец; 8 — индукционная печь; 9 — делительные ножницы

транспортируется к стационарной сварочной машине, перед которой с торцов заготовки удаляется окалина при помощи устройства для сбива окалины. Сварка осуществляется при температуре заготовок, равной 1000 °С, за 10 с. Положение заднего конца предыдущей заготовки в сварочной машине перед сваркой фиксируется корректирующими устройствами. После чего осуществляется сварка заготовок. Грат, появляющийся после сварки на заготовках, удаляется гратоснимателем, состоящим из двух приводных барабанов с фрезами, вращающихся навстречу движущимся заготовкам. Для непрерывной подачи на стан металла между сварочной машиной и первой клетью имеется плетевой колодец, в котором создается резерв металла на период сварки заготовок. Петлевой колодец имеет длину 11 м, глубину 13 м и ширину 0,7 м. Транспортирование раската у петлевого колодца осуществляется трайб-аппаратами. Для компенсации потерь тепла в заготовке, а также для выравнивания температуры по длине заготовки установлена тоннельная печь. Температура выхода заготовки из печи 1130–1180 °С. Далее трайбаппарат осуществляет продвижение сваренной заготовки к первой клетке стана. На стане осуществляется прокатка сваренных заготовок в бесконечном режиме.

Поставка готового проката возможна в мотках и в прутках.

Для прокатки простых и фасонных профилей из углеродистых и легированных марок сталей находит применение *прокатка в валках с гладкой бочкой*. Такая прокатка наиболее эффективна на непрерывных станах, оборудованных клетями с вертикальным и горизонтальным расположением валков (рис. 130). По сравнению с прокаткой в калибрах гладкая бочка имеет преимущества: используется вся рабочая поверхность валка, калибровка имеет широкую универсальность, поперечное течение металла в процессе деформации способствует обновлению поверхностных слоев, а следовательно, уменьшению или выкатываемости поверхностных дефектов, значительно повышается производительность стана.

Заготовку задают в прокатные клетки таким образом, чтобы со стороны входа ее меньшая ось была параллельна рабочим поверхностям валков. Осуществление этого способа прокатки должно быть при отношении длины большей оси поперечного сечения заготовки к меньшей в пределах 1,5–2,5.

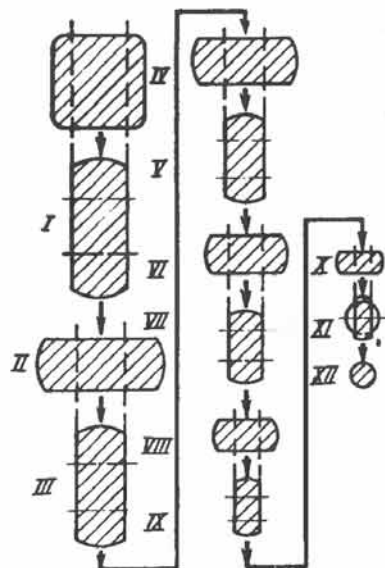
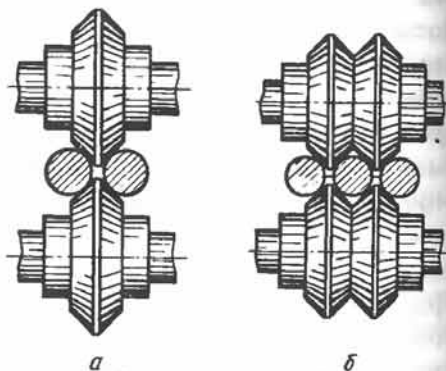


Рис. 130. Схема прокатки в гладких валках на сортопрокатных станах (I—XII номера проходов)

Рис. 131. Схема разделения проката:

а — при двухручьевой прокатке; б — при трехручьевой прокатке



Поскольку в процессе прокатки возможно сваливание раската в очаге деформации, необходимо наличие проводок для его поддержания.

Применение этой технологии на сортопрокатных станах, кроме того, дает возможность уменьшить капиталовложения и эксплуатационные затраты в результате более быстрой и легкой переточки валков, упрощения перехода с профиля на профиль, унификации схемы обжатия на стане для различных профилей и марок стали и др.

При производстве профилей круглого, периодического и фасонного сечения получила применение технология *прокатки — разделения*. Сущность этого процесса прокатки заключается в деформировании раската, состоящего из двух полос равного сечения, соединенных между собой перемычкой в специальных калибрах; разрезке этой перемычки в продольном направлении непосредственно в валках или вращающимися роликами с дисковой насадкой, установленными в технологическом потоке; прокатке разделенных полос до окончательного размера в последующих клетях. Прокатка-разделение

позволяет получать прокат в две или более ниток (рис. 131). Производство сортового проката этим методом имеет значительные преимущества по сравнению с обычной прокаткой: увеличивается производительность станов, сокращается число рабочих клеток, снижается расход валков и потребление электроэнергии и др.

В настоящее время на сортопрокатных станах главным образом осуществлено однократное разделение на две нитки как более надежное и технологичное. При прокатке круглых профилей диаметром 10 мм расход энергии снижается на 15 % на тонну проката, валков примерно на 15 %, уменьшение эксплуатационных затрат не менее чем на 10–20 %.

Широкое распространение в сортопрокатном производстве нашла *термическая обработка сортового проката*. Наиболее распространенными способами являются различные виды отжига — полный, неполный, изотермический, рекристаллизационный, сфероидизирующий, диффузионный, а также нормализация, закалка и отпуск. Одним из перспективных способов упрочнения сортового проката является термомеханическая обработка в технологическом потоке за чистовыми клетями станов. При этом конечные свойства металла зависят от марки стали, сечения проката, степени деформации и температуры металла перед закалкой, закалочной среды и температуры отпуска. Так, для проката периодического профиля арматурной стали 25Г2С, подвергнутого термической обработке в потоке стана, предел прочности повышается в два раза ($\sigma_B=1150-1300$ МПа), а относительное удлинение достигает 10–13 %. Термообработка металла в потоке экономически весьма эффективна.

Применяется также упрочняющая термическая обработка сортового проката с отдельного нагрева в термических отделениях прокатных цехов. Упрочняющий режим термической обработки сортовой стали может состоять в нагреве проката в непрерывных роликовых печах с роликовым подом в зависимости от марки стали до 800–900 °С, закалке водовоздушной смесью в камере с роликовым подом и отпуске в печи при 400–500 °С.

3. Калибровка валков сортопрокатных станов

Калибровка представляет собой порядок прокатки последовательного ряда переходных сечений прокатываемых профилей. Расчеты калибровки осуществляют по двум схемам: по ходу прокатки (от заготовки до конечного профиля) и против хода прокатки (от конечного профиля к заготовке). По обеим схемам для расчета и распределения коэффициентов деформации по пропускам необходимо знать размеры исходной заготовки.

Прокатка сортовых профилей начинается в *вытяжных калибрах*, т.е. попарно связанных между собой калибрах, предназначенных для вытяжки металла. Применяют разные схемы обжимных и вытяжных калибров, например, ящичные, ромб—квадрат, ромб—ромб, овал—квадрат и т.д. (рис. 132).

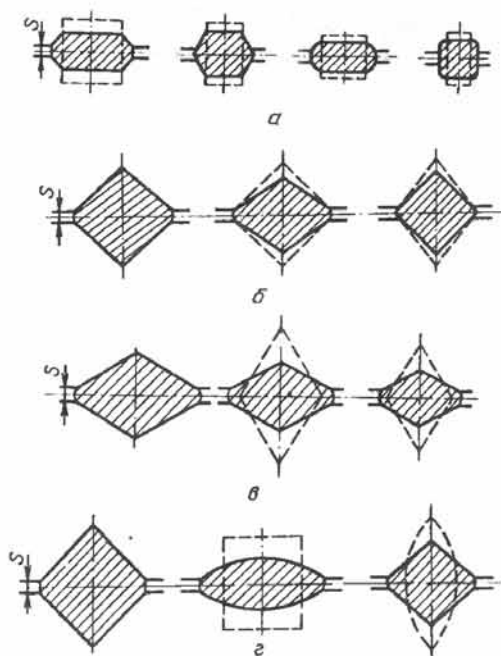


Рис. 132. Схемы вытяжных калибров:
а — ящичные; б — ромб—квадрат;
в — ромб—ромб; г — овал—квадрат

Из всех обжимных (вытяжных) калибров наиболее распространенной является схема ящичных калибров. Часто встречается схема гладкая бочка — ящичный калибр.

При прокатке средне- и мелкосортной стали широко используют схему калибров ромб—квадрат. Преимущества и не-

достатки схем ящичных калибров и ромб—квадрат были рассмотрены в гл. 5.

Схему геометрически подобных калибров ромб—ромб, при которой после каждого пропуска раскат кантуют на 90° , применяют довольно редко. Прокатка по этой схеме менее устойчива, чем в схеме ромб—квадрат. Ее, главным образом, используют для прокатки качественных сталей, когда производятся небольшие обжатия по условиям пластической деформации с вытяжкой до 1,3.

Вытяжная схема калибров овал—квадрат является одной из наиболее распространенных и применяемых на средне-, мелкосортных и проволочных станах. Ее преимуществом перед другими схемами является систематическое обновление углов раската, что способствует получению одинаковой температуры по его сечению. Раскат ведет себя устойчиво при прокатке в овальном и квадратном калибрах. Система характеризуется большими вытяжками, но их распределение в каждой паре калибров всегда неравномерно; в овальном калибре вытяжка больше, чем в квадратном. Большие вытяжки дают возможность уменьшить количество проходов, т.е. повысить экономическую эффективность процесса.

Рассмотрим калибровку валков для некоторых простых и фасонных профилей массового производства.

Прокаткой получают *круглые профили* диаметром от 5 до 250 мм и больше.

Прокатка круглых профилей выполняется по различным схемам в зависимости от диаметра профиля, типа стана, прокатываемого металла. Общим для всех схем прокатки является наличие предчистового овального калибра. Перед задачей полосы в чистовой калибр ее кантуют на 90° .

Обычно форма предчистового калибра — правильный овал с отношением длин осей 1,4—1,8. Форма чистового калибра зависит от диаметра прокатываемого круга. При прокатке круга диаметром до 30 мм образующая чистового калибра представляет правильную окружность, при прокатке круга большего диаметра горизонтальный размер калибра берут на 1—2% больше вертикального, так как их температурная усадка неодинакова. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре принимают равным 1,075—1,20. Круглые профили прокатывают только в проводках за один проход в последнем — чистовом калибре.

Широко распространена так называемая универсальная схема прокатки круглой полосы по системе квадрат—ступенька—ребро—овал—круг (рис. 133). При прокатке по данной схеме можно в широких пределах регулировать размеры полосы, выходящей из ребрового калибра. В одних и тех же валках можно прокатывать круглые профили нескольких размеров, меняя только чистовой калибр. Кроме того, применение универсальной схемы прокатки обеспечивает хорошее удаление окалины с полосы.

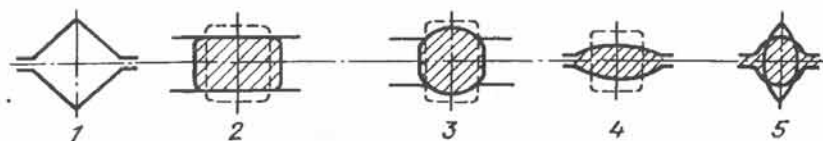


Рис. 133. Схема прокатки профилей круглого сечения: 1 — квадрат; 2 — ступенька; 3 — ребро; 4 — овал; 5 — круг

При прокатке круглого профиля сравнительно небольших размеров часто применяют схему калибров квадрат—овал—круг. Сторона предчистового квадрата a , существенно влияющего на получение хорошего круглого профиля, принимается для профилей небольших размеров равной диаметру d , а для профилей средних и крупных размеров $1,1 d$.

При расчете калибровки валков непрерывных станов особенно важно определить катающие диаметры. Это позволяет вести процесс прокатки без образования петли или чрезмерного натяжения полосы между клетями.

В прямоугольных калибрах катающий диаметр принимают равным диаметру валков по дну калибра. В ромбических и квадратных — переменный: максимальный у разъема калибра и минимальный в вершине калибра. Окружные скорости различных точек этих калибров неодинаковы. Полоса выходит из калибра с некоторой средней скоростью, которая соответствует катающему диаметру, приближенно определяемому по средней приведенной высоте калибра

$$h_{cp} = F/b. \quad (77)$$

В этом случае катающий диаметр

$$D_k = D - h_{cp} = D - F/b, \quad (78)$$

где D — расстояние между осями валков при прокатке.

Наиболее прост расчет калибровки для станов с индивидуальным приводом валков. В этом случае определяют общий коэффициент вытяжки

$$\mu_{обш} = F_o / F_n,$$

где F_o — площадь поперечного сечения исходной заготовки; F_n — площадь поперечного сечения прокатанного профиля.

Затем с учетом соотношения $\mu_{обш} = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \dots \mu_n$, распределяют вытяжку по клетям. Определив катающий диаметр валков чистовой клетки и приняв необходимую частоту вращения валков этой клетки, вычисляют константу калибровки:

$$C = F_1 v_1 = \dots = F_n v_n,$$

где $F_1 \dots F_n$ — площади поперечного сечения полосы в клетях 1, ..., n ; $v_1 \dots v_n$ — скорости прокатки в этих клетях.

Катающий диаметр валков при прокатке в ящичном калибре

$$D_k = D - h, \quad (79)$$

где h — высота калибра.

При прокатке в квадратных калибрах

$$D_k = D - 0,5h = D - a/1,41, \quad (80)$$

где h — сторона квадрата.

После этого по вытяжкам определяют размеры промежуточных квадратов, а потом промежуточных прямоугольников. Зная константу калибровки c , определяют частоту вращения валков в каждой клетке

$$n = c / F D_k. \quad (81)$$

Квадратные профили прокатываются со стороной от 5 до 250 мм. Профиль может иметь острые или закругленные углы. Обычно квадратный профиль со стороной до 100 мм получают с незакругленными углами, а со стороной свыше 100 мм — с закругленными углами (радиус закругления не превышает 0,15 стороны квадрата). Наиболее распространена система прокатки квадрат—ромб—квадрат (рис. 134). По этой схеме прокатка в каждом последующем калибре ведется с кантовкой на 90° . После кантовки раската, вышедшего из ромбического калибра, большая его диагональ будет вертикальной, поэтому полоса будет стремиться опрокинуться.

При построении чистового квадратного калибра размеры

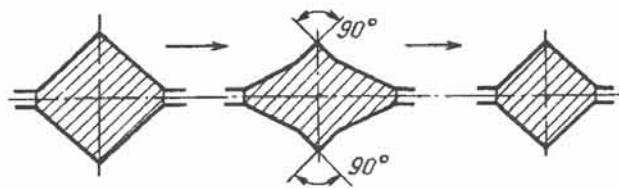


Рис. 134. Схема прокатки полосы квадратного сечения

его определяют с учетом минусового допуска и усадки при охлаждении. Если обозначить сторону чистового профиля в холодном состоянии a_k , а минусовой допуск — Δa и принять коэффициент температурного расширения равным 1,02—1,015, то сторона чистового квадратного калибра

$$a_k = (1,012 + 1,015)(a - \Delta a), \quad (82)$$

где a — стороны квадратного профиля в горячем состоянии.

При прокатке крупных квадратных профилей температура углов заготовки всегда ниже температуры граней, поэтому углы квадрата получаются не прямыми. Чтобы устранить это, углы при вершине квадратного калибра делают большими 90° (обычно $90^\circ 30'$). При таком угле высота (вертикальная диагональ) чистового калибра $h = 1,41a$, а ширина (горизонтальная диагональ) $b = 1,42a$. Запас на уширение для квадратов со стороной до 20 мм принимается равным 1,5—2 мм, а для квадратов со стороной более 20 мм 2—4 мм. Вытяжка в чистовом квадратном калибре принимается равной 1,1—1,15.

При производстве квадратного профиля с острыми углами существенно важна форма предчистового ромбического калибра, особенно при прокатке квадратов со стороной до 30 мм. Обычная форма ромбов не обеспечивает получение квадратов с углами правильной формы по линии разъема валков. Для устранения этого недостатка применяют предчистовые ромбические калибры, вершина которых имеет прямой угол. Расчет калибровки квадратного профиля начинают с чистового калибра, а затем определяют размеры промежуточных вытяжных калибров.

Прокаткой получают полосы, прямоугольные полосы шириной 12—200 мм и толщиной 4—60 мм. Существует несколько способов их получения. Полосы шириной более 80 мм получают на линейных станах прокаткой в закрытых калибрах. Полосы шириной менее 80 мм прокатывают также на линейных станах в ступенчатых валках.

Полосовые профили прокатывают и на станах с последовательным расположением клеток в калиброванных или с гладкой бочкой валках, применяя один—два ребровых калибра для корректировки размеров сечения полосы.

На непрерывных мелкосортных, полосовых и штрипсовых станах для получения полос заданной ширины устанавливают клетки с вертикальными валками. В первых клетях непрерывных мелкосортных станов валки калиброванные, в последних клетях — с гладкой бочкой (рис. 135).

Полосы прямоугольного сечения получают из заготовок прямоугольного или квадратного сечения. Если известны ширина B_n и толщина h полосы, то сторона исходного квадрата

$$a = (B_n + kh) / (1 + k), \quad (83)$$

где k — коэффициент, учитывающий уширение (при прокатке со свободным 0,4—0,5, а при прокатке в закрытых калибрах 0,2—0,25).

Обжатия принимают уменьшающимися по ходу прокатки, так

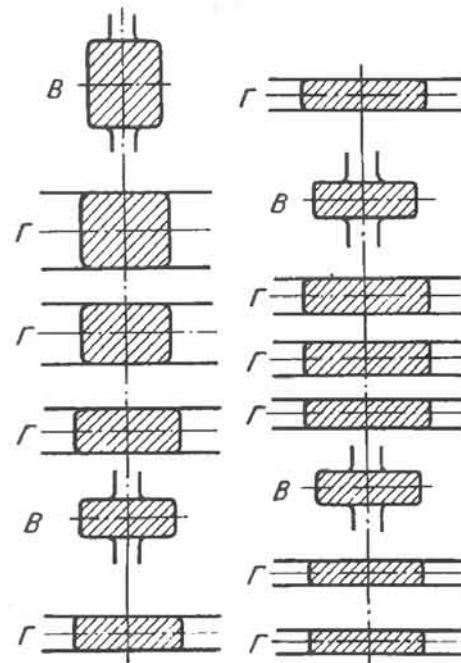


Рис. 135. Схема прокатки прямоугольной полосы на стане с горизонтальными (Г) и вертикальными валками (В)

как температура полосы с уменьшением ее толщины заметно снижается.

Если размеры исходного профиля меньше необходимых, применяют вынужденное уширение полосы в разгонных калибрах. В одном из калибров полосу пережимают посередине, а в следующем калибре края ее обжимают больше, чем середину. В результате появляется вынужденное уширение более обжатых участков. Это и обеспечивает заметное увеличение ширины полосы.

Угловые профили получают прокаткой с постепенным изгибом полосы, а также прокаткой квадратной заготовки в калибрах с прямыми или развернутыми полками (рис.136, а,б).

Наиболее распространен второй способ в силу ряда существенных преимуществ: неглубокий врез в подготовительных калибрах и простота их формы позволяют увеличивать вытяжки; возможность использования калибров для прокатки различных уголков; исключение возможности образования закатов.

Количество пропусков при прокатке углового профиля из квадратной заготовки тем меньше, чем меньше размеры углового профиля. Уголки малых размеров (менее 50×50 мм) прокатывают за пять пропусков, средних размеров — за семь—девять, а больших размеров — за 11 и более пропусков.

Режим обжатий при прокатке угловых профилей выбирается так же, как при прокатке прямоугольных полос, ширина которых равна удвоенной длине полки по ее средней линии.

Расчет калибровки начинают с чистового калибра, затем определяют размеры промежуточных калибров.

В зависимости от типа и конструкции стана определяют целесообразное число профильных калибров; затем, задаваясь коэффициентами обжатия (или абсолютными обжатиями) по калибрам, достигающими при прокатке крупных уголков 1,1—1,7, а средних и мелких уголков 2, определяют остальные элементы калибра.

Сторону исходной квадратной заготовки ориентировочно определяют из равенства

$$x = (b_0 + 2\Delta b_{cp} h_0) / (1 + 2\Delta b_{cp}), \quad (84)$$

где b_0 — сумма длин обеих полок уголка в горячем виде (длина наружной кромки сечения уголка), мм; Δb_{cp} — сред-

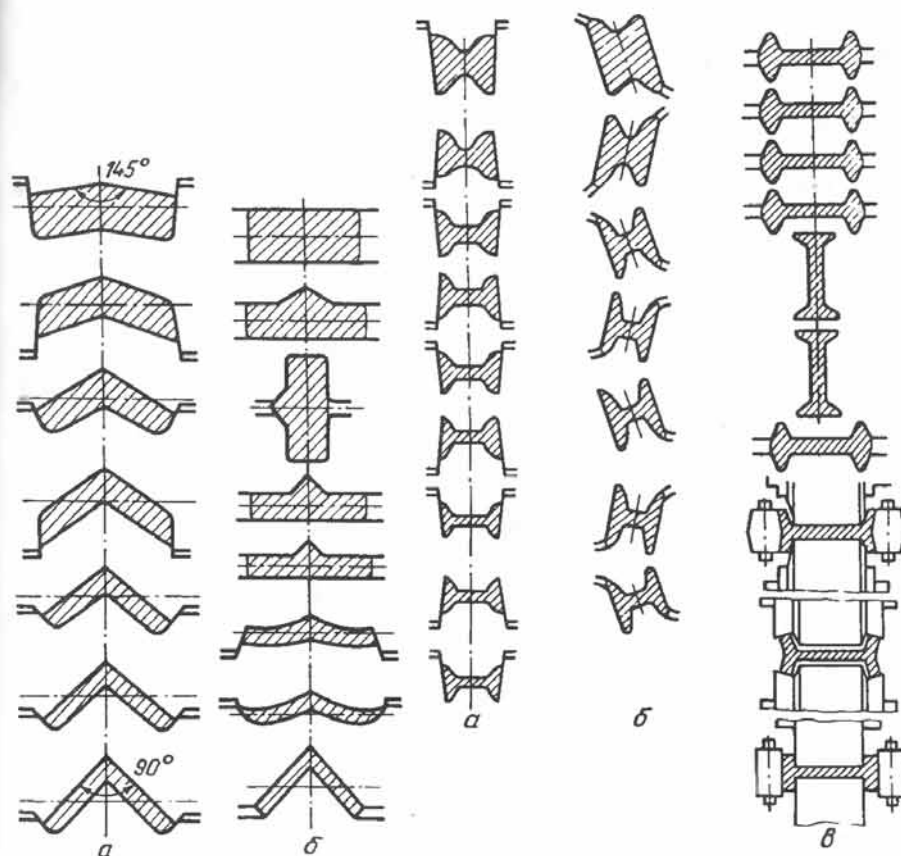


Рис. 136. Схема прокатки угловых равнобоких профилей с прямыми (а) и развернутыми полками (б)

Рис. 137. Схема прокатки двутавровых балок: а — в прямых калибрах; б — в наклонных или косорасположенных калибрах; в — в универсальных калибрах

ний коэффициент уширения одной полки (для малых уголков примерно 0,25 и для больших — с длиной полки 90 мм и более — 0,3); h_0 — толщина полок уголка в горячем виде, мм.

Коэффициенты вытяжки для прокатки углового профиля могут быть равны в подготовительных калибрах 1,50—1,60, в предотделочном 1,30—1,40 и в чистовом 1,15—1,20.

Для прокатки неравнобоких угловых профилей расчет калибров и режима обжатия производится так же, как и для равнобоких, однако расположение калибров в валках нес-

колько иное. Существуют два способа расположения калибров для прокатки неравнобокого уголка.

По первому способу биссектриса угла профиля располагается вертикально. При таком расположении калибров валки испытывают значительные осевые усилия. Это приводит к необходимости их укрепления для предотвращения смещения, а валки вследствие глубокого вреза сильно ослабляются.

По второму способу биссектриса прямого угла профиля располагается наклонно. Усилия обеих полков, действующие на валки, уравниваются. Однако изменение зазора между валками в данном случае вызывает неодинаковое изменение толщины полков уголка, что не наблюдается в первом случае. Кроме того, возникает необходимость иметь чистовые калибры для каждой толщины полки профиля, что является также недостатком данного способа.

Фасонные профили. Калибровка валков для прокатки двутавровых балок, швеллеров, рельсов имеет свои особенности. Важнейшими особенностями прокатки фасонных профилей является неравномерность деформации отдельных частей профиля (например, стенки и полки балки) и различная скорость прокатки по сечению полосы.

Балки прокатываются по трем основным схемам: в прямых калибрах (рис. 137, а), в наклонных или косорасположенных калибрах (рис. 137, б) и в универсальных клетях (рис. 137, в). Последняя схема применяется главным образом при прокатке балок с параллельными полками. При прокатке в прямых калибрах исходной заготовкой обычно служат блюмы прямоугольного сечения. Балки № 10–30 прокатывают в разрезных закрытых калибрах, а более крупные балки — в открытых калибрах.

В наклонных калибрах прокатывают балки сравнительно небольших размеров. Наклонное расположение калибров позволяет получить балки с параллельными полками, что невозможно при прямом расположении калибров. При данной схеме можно применять большие вытяжки, наклон стенок дает возможность перетачивать калибры при небольшом уменьшении диаметра валков. Все это увеличивает срок службы валков в 2–2,5 раза по сравнению с первой схемой. Третий способ применяют главным образом для прокатки крупных балок.

При расчете калибровки для прокатки балок необходимо

выбрать схему прокатки, определить число проходов, принять вытяжки по проходам и элементам профиля. Для каждого прохода следует определить уширение по шейке, утяжку фланца или приращение его высоты, рассчитать первый черновой (разрезной) калибр, определить (ориентировочно) размеры исходной прямоугольной заготовки, рассчитать и спроектировать промежуточные калибры.

Калибровку валков для прокатки двутавровых балок в прямых калибрах обычно рассчитывают против направления прокатки. Для облегчения и упрощения расчета калибровки все сечение профиля делят на ряд простых по форме участков. Профиль балки делят на 5 частей: четыре фланца и стенку. Размеры каждого элемента в процессе калибровки увязывают с размерами всего профиля.

Коэффициенты вытяжки выбирают постепенно возрастающими к разрезным калибрам. В чистовом калибре коэффициент вытяжки составляет по шейке 1,05–1,07 и по фланцам 1,1–1,15, а в разрезном калибре 1,5–2,0 и 1,25–1,40 соответственно. Вытяжки в промежуточных калибрах в зависимости от ряда условий чаще всего принимают равными 1,2–1,8 (для шейки) и 1,15–1,4 (для фланцев).

Число проходов при прокатке двутавровых балок определяют в зависимости от принятых вытяжек и размеров балок. Для балок № 10–22 принимают от 9 до 27, для более крупных балок от 11 до 15 проходов.

При прокатке балок на формирование фланцев весьма влияет величина уширения. В балочных калибрах применяют прокатку со стесненным уширением. Уширение в чистовом калибре для небольших балок, равное 1 мм, увеличивается по мере роста номера балки до 5 мм. В промежуточных калибрах величина уширения составляет от 1 до 15 мм.

Калибровка валков для прокатки швеллеров. Для прокатки швеллеров наиболее распространены балочный способ построения калибров (рис. 138, а), калибровка с увеличенным выпуском и развернутая калибровка или так называемый уголкового способ (рис. 138, б).

Преимуществом балочного способа является то, что разрезной и черновой калибры (2–4) могут одновременно использоваться для швеллеров и балок.

При прокатке в калибрах с увеличенным выпуском все калибры за исключением чистового растачиваются с весьма

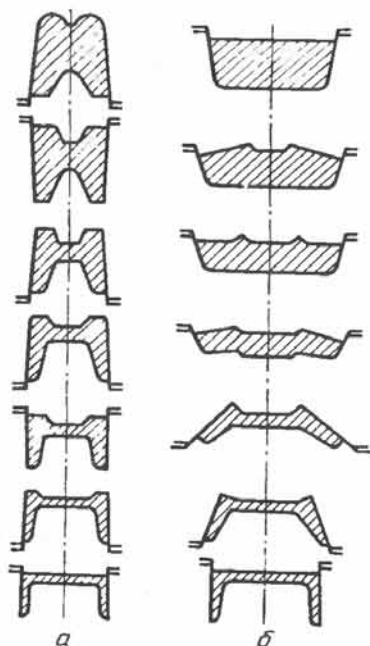


Рис. 138. Схемы прокатки швеллеров:
а — балочная; б — уголкового

значительным выпуском (10–15%). Это уменьшает износ валков, предупреждает заклинивание и позволяет увеличить обжатия в черновых калибрах, что сокращает число проходов.

Развернутая калибровка аналогична развернутой калибровке валков при прокатке угловой стали. Вследствие незначительного вреза ручья максимальное обжатие производится в первых проходах, когда температура и пластичность раската высоки. Уширения при прокатке швеллера в отдельных случаях значительны. В одних и тех же черновых калибрах прокатывают швеллеры, отличающиеся шириной на 20–30 мм. Черновые калибры в этом случае рассчитываются для прокатки швеллера минимальной ширины. При калибровке валков для прокатки швеллера одного размера уширение принимают таким же, как и для балок.

Строгое чередование открытых и закрытых фланцев при калибровке швеллера отсутствует, допускается последовательное расположение нескольких открытых калибров (обычно четырех). Для получения фланцев необходимой высоты, что достигается лишь применением закрытых калибров, предусматривают обычно один или два так называемых контрольных

закрытых или полуоткрытых калибра, которые врезают после четырех открытых калибров.

Калибровка валков для прокатки рельсов. Рельсы относятся к фланцевым профилям с несимметричностью относительно своих вертикальной и горизонтальной осей. По назначению рельсы подразделяют на железнодорожные (нормальные и узкоколейные), узкоколейные трамвайные, крановые и др.

Рельсы характеризуются массой 1 м длины, кг/м: железнодорожные Р–38 — 38,41; Р–43 — 43,3–46,4; Р–50 — 51,51; Р–65 — 65,08; Р–75 — 75,00; трамвайные — 55 — 64,8; фуникулерные — 41,30; крановые (КР–70, КР–80, КР–100, КР–120, КР–140) — 70–140; стрелочные — 54–73.

Профиль рельса можно разделить на три отдельных элемента: головку, шейку, подошву. При прокатке рельсов значительная разница ширины рельса по головке и по подошве существенно влияет на выбор калибров. Специфическая форма рельсового профиля вызывает необходимость давать различные обжатия разным участкам полосы. Обычно неравномерную деформацию осуществляют в первых калибрах, когда температура прокатываемого металла достаточно высока. Во избежание возникновения чрезмерных внутренних напряжений в металле в остальных калибрах применяют более равномерные обжатия.

Типовая схема калибровки валков для прокатки рельсов приведена на рис. 139. Прямоугольная заготовка разрезается снизу для хорошей проработки металла будущей подошвы рельса. Чем глубже внедряется гребень калибра в прокатываемый металл, тем быстрее разрушается кристаллическая

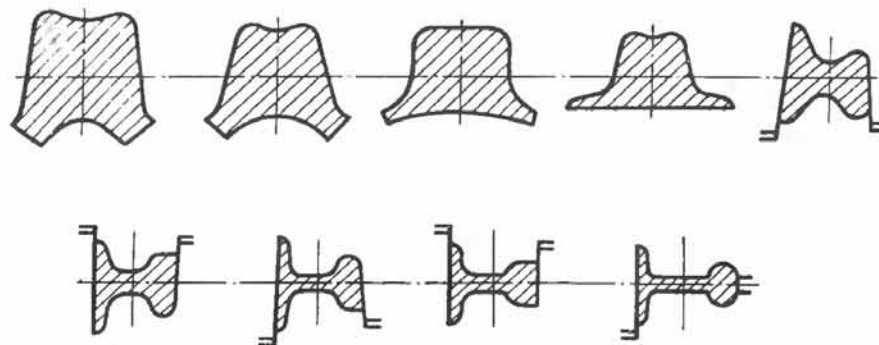


Рис. 139. Схема прокатки рельсов

структура стали, тем выше качество будущих рельсов. В последующих тавровых калибрах выполняется разворачивание подошвы рельса при одновременном значительном обжатии рельсовой заготовки по высоте.

Выпуски в первых тавровых калибрах принимаются равными 10–20 %, в последних калибрах 6–15 %. Увеличение выпусков облегчает условия захвата и вызывает уменьшение угла захвата. Чем больше исходная заготовка, тем лучше качество, ровнее и чище поверхность рельсов, так как с увеличением разницы между размерами исходного и конечного сечений возрастает степень деформации прокатываемого металла.

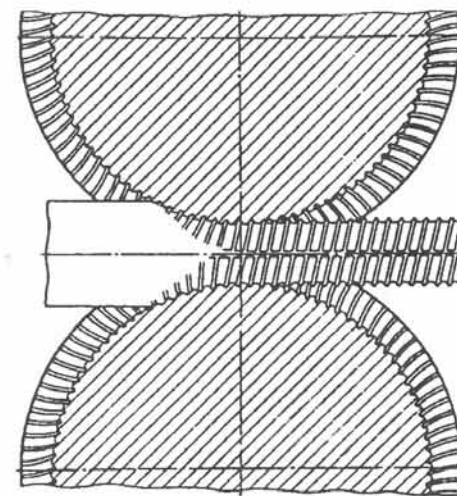
При прокатке рельсового профиля большое внимание уделяется получению правильной выпуклости головки рельса, при этом шейка профиля должна быть строго перпендикулярна основанию подошвы.

Разрезной и промежуточный калибры при прокатке рельсов выполняют как прямыми, так и наклонными, причем наиболее распространены наклонные калибры. Равномерность деформации отдельных элементов профиля наблюдается лишь в близких к чистовому и в чистовом проходах. В остальных проходах деформация неравномерна. В первых проходах деформация шейки намного превышает деформацию головки и подошвы рельса.

Суммарная вытяжка при прокатке рельсов от разрезного калибра к чистовому обычно не превышает семикратной. Средняя вытяжка составляет 1,2–1,22. По общей вытяжке и общему числу проходов намечают частные вытяжки для каждого элемента профиля в каждом проходе. В чистовом и предчистовом калибрах обычно стремятся иметь равные вытяжки отдельных элементов профиля. Как при прокатке других профилей, вытяжка возрастает от чистового калибра к черновым.

Периодический профиль арматурной стали. Арматурный периодический профиль представляет собой круглый стержень, на поверхности которого имеются поперечные и продольные боковые выступы по месту разъема валков (рис. 140). Прокатывают номера арматурной стали от 10 до 90 диаметром 9,3–87,5 мм. Калибровка валков включает основные положения калибровки для прокатки профилей постоянного сечения. Основной особенностью калибровки валков для прокатки периодических профилей является необходи-

Рис. 140. Схема прокатки периодического арматурного профиля



мость определения формы и размеров не только последовательных переходных сечений прокатываемого металла, но и продольного сечения раската.

Готовые периодические профили получают из заготовок, прокатанных за несколько проходов в обычных калибрах и в периодическом чистовом калибре.

Калибровку арматурной стали рассчитывают по любой схеме прокатки круглых профилей. Вытяжки в чистовых калибрах для надежного заполнения и выполнения продольных и поперечных выступов предусматриваются увеличенными. Для различных номеров профиля вытяжка составляет 1,4–1,6 в чистовых калибрах и 1,2–1,4 в предчистовых овалах.

4. Литейно-прокатные агрегаты для производства сортового проката

Наряду с развитием сортопрокатных станов и совершенствованием технологии производства сортового проката на них в металлургическое производство в настоящее время внедряются агрегаты, совмещающие МНЛЗ с прокатными станами для производства сортового проката.

В настоящее время за рубежом эксплуатируются литейно-прокатные агрегаты, производящие сортовую заготовку, в состав которых входят колесно-ленточная МНЛЗ, вертикальная и горизонтальная клетки. Скорость разлива на такой МНЛЗ достигает 5 м/мин и выше.

На одном из металлургических заводов России успешно эксплуатируется литейно-прокатный агрегат, производящий катанку из легированных и высоколегированных сталей и сплавов диаметром 5–12 мм. В состав агрегата входят одно-ручьева МНЛЗ, универсальный планетарный шестиклетьевой непрерывный стан (рис.141). Непрерывнолитая заготовка

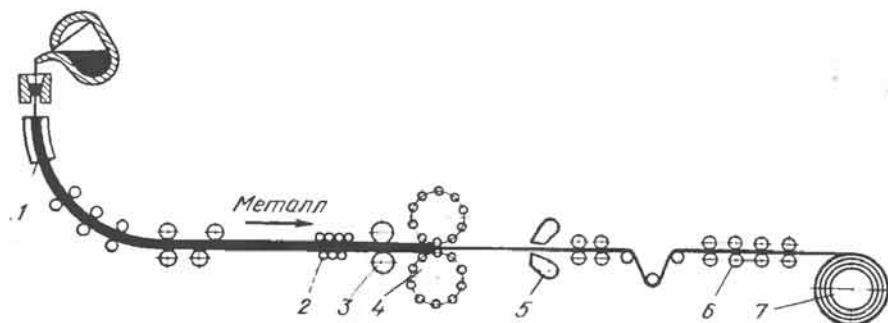


Рис. 141. Схема литейно-прокатного агрегата: 1 — радиальная МНЛЗ; 2 — индукционная подогревательная печь; 3 — задающая клеть; 4 — универсальный планетарный стан; 5 — летучие ножницы; 6 — блок чистовых клетей; 7 — моталка

прямоугольного сечения с размерами 115×87 мм после вывода в горизонтальное положение поступает в индукционную подогревательную печь, где нагреваются заохлажденные поверхности, а также углы заготовки и выравнивается температура по поперечному ее сечению. Попадая затем в задающую клеть, заготовка предварительно обжимается по углам и принимает форму поперечного сечения, близкого к восьмиграннику. Это делается для того, чтобы избежать дефектообразования на углах заготовки при дальнейшем ее интенсивном деформировании. После задающей клетки, поступая в универсальный планетарный стан, заготовка деформируется до сечения 11×11+20×20 мм. Вытяжка, которую получает заготовка в универсальном планетарном стане, равна примерно 60, т.е. такая, которую достигают при прокатке металла на двенадцатиклетьевом непрерывном стане. В универсальном планетарном стане (рис.142) имеются четыре рабочих валька, оси которых находятся в одной вертикальной плоскости, такие клетки называются универсальными. А сами рабочие вальки попарно являются горизонтальными и вертикальными. Такое размещение валков дает возможность обрабатывать металл одновременно с четырех сторон. По периметру вал-

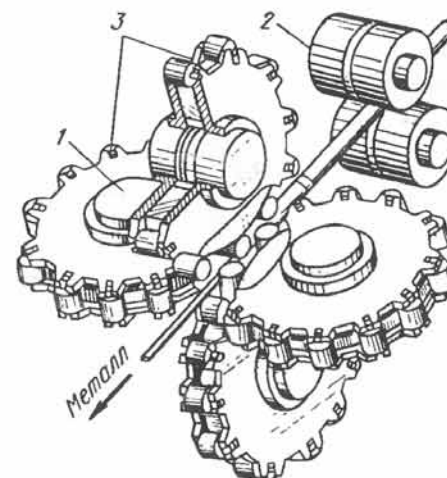


Рис. 142. Универсальный планетарный стан: 1 — планетарные вальки; 2 — задающие вальки; 3 — сепараторы

ков, как у планетарных станков, расположены вальки меньшего диаметра, называемые сепараторами. Рабочие вальки связаны между собой зубчатой передачей, обеспечивающей поочередное прохождение по прокатываемому металлу пары то горизонтальных, то вертикальных сепараторов. Особенностью процесса деформации при планетарной прокатке с четырехсторонним обжатием является его дробность. В этом случае время пробега одного рабочего валька весьма мало (0,02–0,03 с), и поэтому в интервале между каждой разовой деформацией не успевают полностью проходить процессы разупрочнения. Скорость выхода раската из планетарного стана достигает 5 м/с. Прокатка на планетарном стане не дает разрывов металла или следов заката, усадочные раковины, образующиеся при кристаллизации слитка, в процессе прокатки завариваются, механические свойства металла становятся более высокими.

Затем до размеров катанки металл деформируется на шестиклетьевом непрерывном прокатном стане с попеременным размещением валков в горизонтальном и вертикальном положениях. Готовый прокат сматывается на моталке.

5. Дефекты сортопрокатной продукции

Дефекты, получаемые на сортопрокатных станах, подразделяются на *внутренние* и *наружные*. К внутренним дефектам относятся следы усадочной раковины (рыхлость), флокены,

неметаллические включения, перегрев, пережог, обезуглероживание поверхности и др.; к наружным — недокаты, закаты, риски, царапины, трещины, рванины, плены, открытые раковины, смещение частей профиля, невыполненный профиль, профиль с заусенцами, лампасы, волнистость, волосовины, вдавленная окалина и др.

Любой дефект на поверхности слитка или заготовки в процессе прокатки переходит на готовый прокат в увеличенных его линейных размерах прямо пропорционально общему коэффициенту вытяжки. Поэтому поверхностные дефекты удаляются уже в начале технологического процесса прокатки на слитках и особенно на заготовках. Так как удаление дефектов на готовом прокате организовать трудно, а часто невозможно и, кроме того, стоимость зачистки в этом случае значительно дороже.

Недокат — это раскат, который не прокатывается в готовый прокат. Причины получения недоката могут быть различные. Это неравномерный нагрев заготовки по ее длине и сечению, что приводит к скручиванию, изгибу или серповидности раската на выходе раската из валков, что затрудняет задачу его в последующие калибры. Недокаты также образуются при неправильно настроенных валках, из-за неровных концов полосы, неточно установленной арматуры и т.д.

К мерам предупреждения образования недокатов относятся равномерный нагрев металла по длине и поперечному сечению, правильная настройка рабочих клетей и проводковой арматуры, обрезка неровных концов раската.

К наиболее характерным дефектам сортопрокатного производства относятся *неправильные профили по их форме и неточности размеров*. В результате поступления в данный калибр из предыдущего раската большего, чем нужно, сечения или из-за повышенного уширения при недостаточной температуре металла часто готовый профиль получается с *заусенцами или лампасами — "усами"* (рис.143,а). Появление "усов" на раскате в подготовительных и предчистовых калибрах ведет к образованию *закатов на готовом профиле* (рис.143,б). В случае обнаружения закатов прокатку останавливают, определяют место образования "усов" и корректируют настройку клетей и привалковой арматуры, а дефект удаляется зачисткой, мелкие профили переводятся во второй сорт. При слишком высокой температуре металла полного

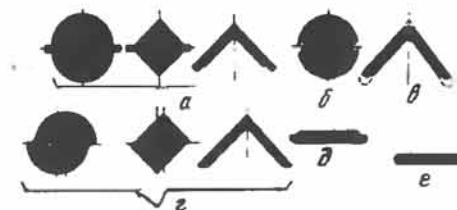


Рис. 143. Виды основных дефектов профилей сортопрокатной продукции: а — круг, квадрат и уголок с переполнением калибра; б — закат; в — невыполненный профиль; г — круг, квадрат и уголок со смещением части профиля; д — полосовой профиль с закатом; е — полосовой профиль с закруглением боковых граней

заполнения чистового калибра не происходит, что приводит к искажению профиля, например к невыполнению угла при вершине или неправильному заполнению концов полок углового профиля (рис.143,в). Также *невыполнение угла* может происходить из-за несоответствия углов закругления предчистового и чистового калибров. *Невыполнение полок углового профиля* получается при малой их величине в предчистовом калибре.

Осевой сдвиг валков приводит к возникновению характерного для круглого и квадратного профиля дефекта, а при прокатке углового профиля сдвиг профиля или разную толщину полок уголка (рис.143,г). При прокатке полосовой стали из квадратной заготовки меньших требуемых размеров происходит невыполнение углов и образование складок на боковой грани (рис. 143,д), а при прокатке в выработанном ребровом калибре готовый профиль может быть с *выпуклыми крошками* (рис.143,е). Так же как вышеперечисленные дефекты, эти дефекты возникают из-за неправильной настройки стана или температуры, не соответствующей требованию технологии. Для предотвращения этих дефектов необходимыми условиями являются правильная настройка стана; систематический отбор проб по клетям; поддержание требуемого температурного режима прокатки.

Частыми дефектами сортопрокатной продукции являются *риски, царапины, вдавленная окалина*. Продольные риски и царапины образуются из-за негладкой поверхности и плохой настройки привалковой арматуры. Риски и царапины часто бывают на большой длине раската, а глубина их, например, на мелкосортной стали достигает 0,1–0,2 мм. Применение роликовой арматуры качения, а также использование привал-

ковой арматуры (проводок) из "мягкого" металла (серого чугуна) являются надежной мерой предотвращения этих дефектов. Для устранения этих дефектов необходима зачистка готового проката.

Давленная окалина на готовом профиле является следствием недостаточного удаления ее в первых пропусках. В этой связи важным является использование ящичных калибров, способствующих хорошему отслаиванию окалины, а также использование гидросбива окалины водой высокого давления, применяемого в линии прокатки. Следы окалины на готовом профиле чаще всего удаляются абразивной зачисткой.

Трещины и волосовины образуются при нарушении режима нагрева перед прокаткой, если температура печи превышает заданную для данной марки стали. В этом случае имеет место большая разница температуры наружных и внутренних слоев металла, разное термическое расширение, приводящее в результате к образованию трещин.

Волосовины на поверхности металла формируются при прокатке на выработанных, наваренных или насеченных калибрах. Волосовины могут быть следствием царапин и рисок при прокатке металла. Методом выявления волосовин является осадка на молоте или прессе круглых цилиндрических образцов в горячем состоянии.

Поверхностные дефекты на металле в виде всевозможных отпечатков и вмятин являются следствием имеющихся дефектов на поверхности валков. Характерной особенностью внешнего вида таких дефектов является расположение их с периодичностью повторения через каждый оборот валков. Для устранения этих дефектов необходимо правильно хранить валки и своевременно их ремонтировать.

Брак металла по механическим и металлографическим свойствам, приобретенным в процессе прокатного передела, обусловлен нарушением технологии нагрева, прокатки и режима охлаждения. Чтобы избежать этого брака, необходимо строгое соблюдение технологических параметров производства соответствующей марки стали. Каждый профиль, каждая калибровка и каждый стан имеют свои особенности. Для каждого конкретного случая прокатки эти особенности должны быть изучены и дополнены деталями, относящимися к данному стану и данному профилю.

6. Производительность сортопрокатных станов

Продолжительность прокатки одного раската на стане складывается из времени прокатки в отдельных клетях и пауз для передачи раската из клетки в клеть. Ритм прокатки будет тем меньше, чем больше клеток на стане и чем равномернее распределена продолжительность прокатки по клетям. На рис.144 приведен график работы мелкосортного непрерывного стана с перекрытием. Через каждую клеть раскат проходит только один раз и может находиться одновременно в нескольких или во всех клетях.

Ритм прокатки стана

$$T = \tau_m + \tau_n \quad (85)$$

где τ_m — машинное время прохода раската в одной клет; τ_n — время паузы между концом данного и началом следующего раската в одной клет.

Тогда продолжительность прокатки одного раската на непрерывном стане

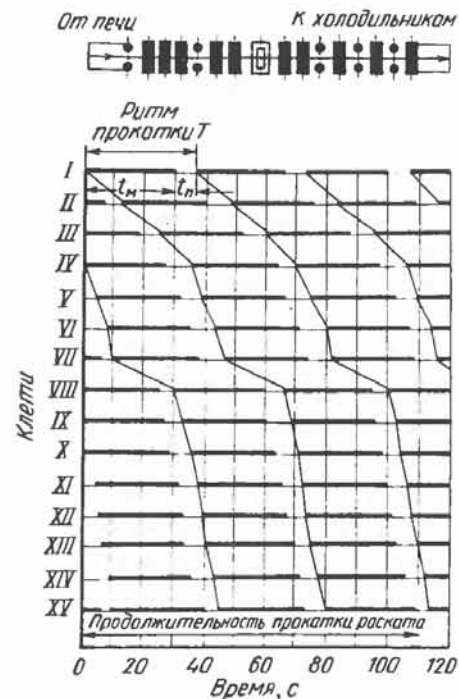


Рис. 144. График работы мелкосортного непрерывного стана

$$\tau_{\text{пр}} = \tau_{\text{м}} + \Sigma \tau_{\text{п}}, \quad (86)$$

т.е. составляет сумму времени одного прохода и пауз между всеми клетями. Отсюда следует, что одновременная прокатка раската в нескольких клетях и в каждой клетке по одному проходу обеспечивают на непрерывных станах минимальные ритмы и продолжительность прокатки раската.

После определения ритма прокатки для каждого профиля можно определить среднюю практически возможную часовую производительность стана

$$A_{\text{ср}} = \frac{1}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \frac{a_3}{A_3}}, \quad (87)$$

где a_1, a_2, a_3 — доли различных профилей, прокатываемых на стане; A_1, A_2, A_3 — производительность стана при прокатке тех же профилей, т/ч.

При определении годовой производительности сортопрокатных станов необходимо знать фактическое число работы их в течение года, которое меньше номинального числа часов на величину простоев. Современные станы работают по непрерывному графику, т.е. без выходных и праздничных дней, останавливаясь только на капитальные и планово-предупредительные ремонты. Продолжительность работы сортопрокатных станов показана в табл. 8.

Увеличение производительности сортопрокатных станов возможно с использованием целого ряда современных оборудования и технологий, к которым следует отнести увеличение массы исходных заготовок; увеличение скорости прокатки; использование в качестве обжимных клетей интенсивной деформации; использование прокатных клетей современных конструкций, позволяющих увеличивать единичные обжатия по проходам; внедрение технологии бесконечной многоручьевой прокатки — разделения и прокатки в гладких валках и др.

Увеличение массы исходных заготовок значительно улучшает динамические показатели работы сортопрокатных станов, стабилизирует технологический процесс, уменьшает колебания размеров поперечного сечения по длине раската, увеличивает выход годного и повышает производительность. Сечение заготовок, используемых в настоящее время на со-

ртопрокатных станах лежит в пределах от 150×150 до 300×360 мм.

Скорости прокатки на современных станах все время увеличиваются. На современных станах скорости прокатки возросли до 10 м/с на крупносортовых станах, до 15 м/с — на среднесортных станах, до 25–30 м/с — на мелкосортных и свыше 100 м/с — на проволочных станах. Предполагается дальнейшее повышение скоростей прокатки, особенно на проволочных станах.

Примером эффективного использования в качестве обжимных клетей может служить клеть поперечно-винтовой прокатки, установленная на непрерывном мелкосортном стане 350/250 и дающая возможность достигать величин вытяжки, во много раз превосходящих значения характерных для обжимных клетей (примерно 1,5–1,7), что дает возможность увеличить исходную массу металла и поперечное его сечение.

Бесконечная прокатка, внедренная на мелкосортных станах, исключает время пауз между концом предыдущего и началом последующего раската. В этом случае ритм прокатки T равен только машинному времени прохода раската в одной клетке, что значительно повышает производительность стана. Результат эксплуатации бесконечной прокатки в нашей стране и за рубежом показал, что часовая производительность стана увеличивается на 10–15%.

На целом ряде отечественных станов при прокатке арматурной стали используется современная технология многоручьевой прокатки — разделения. При прокатке в две нитки производительность стана увеличивается примерно на 30%, а в четыре нитки — до 70%.

Эффективна также технология прокатки сортовых профилей в гладких валках. Производительность сортопрокатных станов в этом случае увеличивается за счет снижения простоев станов, связанных с увеличением количества прокатываемого металла в одних валках без их переточки, что снижает количество перевалок, а значит, и простоев станов.

Решение вопросов интенсификации производства на сортопрокатных станах в целом требует комплексного подхода и учета пропускной способности всех звеньев технологического процесса.

1. По какому признаку подразделяются сортопрокатные станы?
2. Назовите параметры исходного металла для сортопрокатных станов и их сортамент.
3. Дайте перечень необходимого основного и вспомогательного оборудования сортопрокатных цехов.
4. При прокатке каких профилей применяются универсальные клетки?
5. В чем заключается технологический процесс прокатки на сортопрокатных станах?
6. На каких агрегатах производится катанка?
7. Какие современные новые технологические процессы внедряются на сортопрокатных станах?
8. Что такое вытяжные схемы калибровок валков?
9. Какие схемы калибровок валков используются для прокатки простых и фасонных профилей?
10. Какие основные дефекты сортопродукции Вы знаете?
11. Как определяется производительность сортопрокатных станов? Какие факторы влияют на ее увеличение?

Глава 7. ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЛИСТОВ

Горячекатаный листовой прокат подразделяют по толщине на толстолистовой (более 4 мм) и тонколистовой (от 1 до 4 мм). Листы толщиной более 60 мм называют плитами. Деление листов по толщине на толстые и тонкие является условным, так как на современных непрерывных листовых станах прокатывают широкий сортамент, включающий как тонкие, так и толстые листы.

Станы, предназначенные для прокатки толстых листов, классифицируются, главным образом, по числу клеток и их конструкции и по длине бочки валков.

По числу клеток станы бывают одно-, двух-, трех- и четырехклетевые. По их конструкции — двух-, трех-, четырехвалковые и универсальные. По длине бочки валков станы различаются так: 1800—2300; 3000—3600; 5000—5500 мм. Толстолистовая сталь производится на станах, с расположением клеток в одну или две линии, а также на полунепрерывных,

Таблица 8. Технические характеристики современных отечественных станов горячей прокатки листов

Стан	Число рабочих клеток	Наибольшая скорость прокатки, м/с	Годовая производительность, тыс.т	Исходный металл, масса, т	Готовый лист, толщина, мм
Толстолистовой:					
3600	3	6	1750	Слябы <16 Слитки <37	5—50
3000	2	6,5	1200	Слябы <13	5—25
Широкополосный непрерывный:					
2500	12	15	3500	Слябы 10	2—20
2000	14	20	6000	Слябы 36	1,2—16
1700	12	21	4500	Слябы 15	1,2—15

непрерывных и специальной конструкции. Наиболее современными являются непрерывные, на которых лист прокатывают в рулонах толщиной до 16 мм и шириной до 1800—2300 мм. Листовой прокат толщиной более 16 мм и большей ширины, в том числе и плиты, прокатывают на листовых станах с расположением клеток в одну или две линии.

Полунепрерывные (ПШС) и непрерывные широкополосные станы (НШС) горячей прокатки листов также характеризуются длиной бочки валков, которая лежит в пределах от 800 до 2500 мм. На этих станах клетки, как правило, четырехвалковые. В черновых универсальных клетях диаметр рабочих валков 1150—1250, у опорных 1520—1620, а вертикальных — 1000 мм. В чистовых клетях диаметр рабочих валков достигает 720—820, а опорных 1520—1620 мм. Для горячей прокатки тонких полос из электротехнических сталей применяют реверсивные четырехвалковые станы с моталками в печах.

В табл.8 приведены основные технические характеристики современных отечественных станов для производства горячекатаных листов.

1. Станы для производства горячекатаных листов

Толстолистовые станы снабжены оборудованием большой массы и мощности. Тип рабочих клеток и схема их расположения, число и типы нагревательных устройств, устройств охлаждения

ния и резки металла определяются сортаментом и производительностью стана. Типовая схема расположения оборудования толстолистого стана показана на рис.145. Отличия схем расположения оборудования толстолистных станов могут быть по: количеству и расположению рабочих клеток; установке нагревательных печей для промежуточного нагрева; установке ножниц за правильной машиной; применению устройств для быстрого охлаждения раската с целью снижения температуры конца прокатки; оборудованию промежуточного рольганга устройствами для регулирования температурных условий прокатки и др.

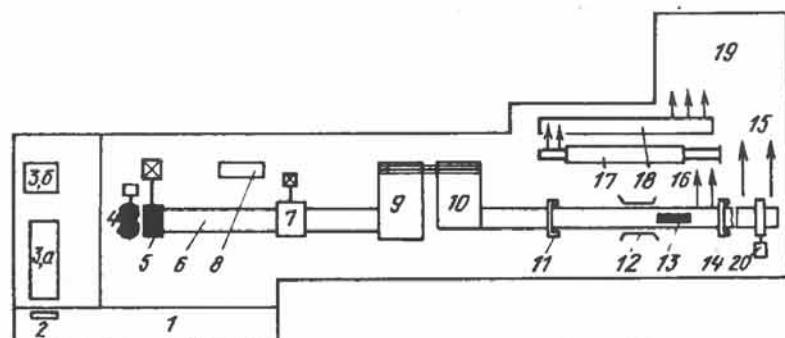


Рис. 145. Типовая схема расположения оборудования толстолистого стана:
1 — склад слябов; 2 — весы; 3, а — нагревательные печи; 3, б — нагревательные колодцы; 4 — клетка с вертикальными валками; 5 — четырехвалковая клетка; 6 — рольганг; 7 — машина горячей правки листов; 8 — резаки огневой зачистки листов; 9 — холодильник; 10 — стол для осмотра листов; 11 — ножницы для обрезки передних и задних концов; 12 — ножницы для обрезки кромок; 13 — ножницы для продольного роспуска листов; 14 — ножницы для поперечной резки листов; 15 — устройство для перевозки листов; 16 — устройство для подачи листов к печам; 17 — печи для термообработки листов; 18 — транспортеры листов; 19 — склад готовых листов; 20 — участок отгрузки листов

Прокатка листов на толстолистных станах осуществляется главным образом в четырехвалковых клетях, в которых допускаются большие обжатия за проход. Полученный на четырехвалковых клетях лист имеет незначительную разнотолщинность, благодаря применению опорных валков больших диаметров. Диаметры рабочих валков в таких клетях равны 900–1200 мм, опорных — 1800–2400 мм. Длина валков лежит в пределах 3000–5500 мм. Одноклетевые толстолистные станы различают по конструкции клетки — числу рабочих валков. Существует четыре типа клеток: двухвалковая реверсивная; четырехвалковая реверсивная; трехвалковая; четырехвалко-

вая универсальная реверсивная. Станы первых трех типов применяют в случае необходимости раскатки ширины листа. Если же лист имеет необходимые размеры по ширине, используют одноклетевый стан с универсальной клетью. Такие станы считаются наиболее современными. В состав оборудования одноклетевого стана входят нагревательные устройства, клетка стана, правильная машина, ножницы для обрезки кромок, ножницы поперечной резки, оборудование для отделки листовой стали. Большое распространение получили двухклетевые станы, имеющие следующие сочетания клеток, расположенных последовательно: 1) первая — двухвалковая, реверсивная (черновая); вторая — трехвалковая; 2) первая — двухвалковая или четырехвалковая реверсивные (черновая); вторая — четырехвалковая или универсальная реверсивные (чистовая).

Производительность этих станов выше производительности одноклетевых станов. Двухклетевой толстолистной стан 3000, предназначен для производства листов толщиной 8–25 мм, шириной до 2700 мм по технологии контролируемой прокатки, а также толщиной 5–25 мм по обычной технологии (рис.146).

Стан оснащен четырьмя нагревательными печами с шагающими балками, оборудованными устройствами для безударной выдачи слябов. Производительность каждой печи составляет 152–168 т/ч. Основное оборудование стана состоит из двух последовательно расположенных черновой и чистовой четырехвалковых клеток с диаметром рабочих и опорных валков 1000 и 2100 мм, с длиной бочки валков 3000 мм, с мощностью главных приводов — черновой клетки 1600 квт, чистовой 25200 квт.

Стан оснащен дополнительным оборудованием, включающим устройства для охлаждения листов, правильные машины, холодильники, ножницы, роликовую закалочную машину, машину абразивной зачистки и др.

Примером трехклетевого стана является толстолистной стан 3600 (рис.147). Стан предназначен для прокатки листов толщиной 5–50 мм, шириной 2000–3200 мм и длиной 6–28 м, а также плит (брони) толщиной 50–200 мм, шириной 2000–3200 мм и длиной до 12 м.

В состав стана входят участок нагревательных печей (для слябов) и колодцев (для слитков); участок рабочих

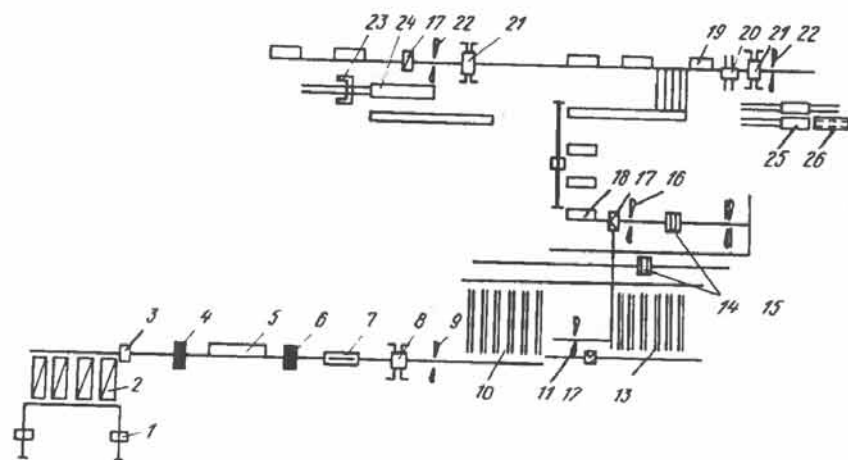


Рис. 146. Схема расположения оборудования толстолистового стана 3000:
1 — загрузочное устройство; 2 — нагревательные печи; 3 — камера гидросбива окалины; 4 — черновая четырехвалковая клет; 5 — устройство для охлаждения раскатов; 6 — чистовая четырехвалковая клет; 7 — устройство для охлаждения листов; 8 — правильная машина; 9 — ножи; 10 — холодильники; 11 — ножи; 12 — агрегат подготовки заготовки для проб; 13 — инспекционные стеллажи; 14 — дефектоскоп; 15 — сдвоенные кромкообрезные ножи; 16 — ножи; 17 — маркировщик-клеимитель; 18 — стеллаж приемки; 19 — передаточное устройство с карманом; 20 — загрузочно-разгрузочное устройство; 21 — правильная машина; 22 — ножи; 23 — транспортер с карманом; 24 — роликовая закалочная машина; 25 — машина абразивной зачистки; 26 — кантователь листов

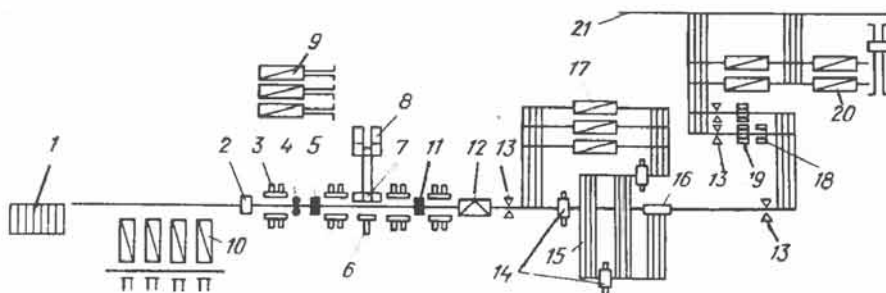


Рис. 147. Схема расположения оборудования толстолистового стана 3600:
1 — нагревательные колодцы; 2 — окалиноломатель; 3 — линейки манипуляторов; 4 — двухвалковая клет с вертикальными валками; 5 — черновая реверсивная четырехвалковая клет 3600; 6 — сталкиватель плит; 7 — подъемно-опускающий стол; 8 — передаточная тележка; 9 — камерные печи с выдвижным подом; 10 — методические печи; 11 — чистовая реверсивная четырехвалковая клет 3600; 12 — роликовая закалочная машина; 13 — ножи поперечной резки; 14 — правильная машина; 15 — холодильник; 16 — охлаждающее устройство; 17 — роликовые печи для нормализации листов; 18 — дисковые ножи для обрезки боковых кромок; 19 — кромкообрезные ножи; 20 — печи для термообработки листа; 21 — склад готовой продукции

клетей в составе вертикальной двухвалковой клети с валками диаметром 900 мм и длиной бочки 1400 мм; черновой реверсивной четырехвалковой клети с рабочими валками диаметром 1100 мм и опорными — диаметром 1800 мм и длиной бочки 3600 мм и чистовой реверсивной четырехвалковой клети с рабочими валками диаметром 1000 мм, опорными — диаметром 1800 мм при длине бочки 3600 мм. Все клети имеют индивидуальный привод валков и оборудованы устройствами для гидросбива окалины водой высокого давления (15 МПа). Кроме этого, на стане имеются участки прокатки и отделки листов и плит. В состав оборудования, предназначенного для получения листов толщиной 5–50 мм, входят методические печи, рабочие клети стана, роликовая закалочная машина, ножи поперечной резки, ножи для обрезки боковых кромок и кромкообрезные ножи, правильная машина, холодильник, охлаждающее устройство, роликовые печи для нормализации и печи для термообработки листов. В состав оборудования для производства плит толщиной 50–200 мм входят нагревательные колодцы, окалиноломатель, рабочие клети, сталкиватель плит, подъемно-опускающий стол, передаточная тележка, камерные печи с выдвижным подом.

Закалочная роликовая машина служит для повышения прочности листов из стали с низким содержанием углерода или для регулируемого охлаждения прокатных листов до температур, необходимых для загрузки в нормализационные печи или для правки листов. Машина имеет 70 нижних и столько же верхних роликов диаметром 240 и шагом 500 мм, расположенных друг над другом. Зазор между роликами устанавливается в соответствии с толщиной подвергаемых закалке листов, между роликами установлены ряды сопел.

Все ножи стана имеют одинаковую конструкцию с усилием реза 1900 т и числом ходов, равным 18 мин⁻¹. Три нормализационные печи с роликовым подом длиной по 113 м установлены в потоке стана. Температура загружаемых листов 600–700°C, в печи они нагреваются до 900–970°C. Под печи состоит из 193 роликов диаметром 450 мм и шагом роликов, равным 580 мм. После нормализации листы охлаждаются водой в охлаждающем устройстве до температуры 450–550°C и передаются к правильным машинам. Все три машины имеют одинаковую конструкцию и предназначены для правки листов толщиной 5–17 мм при температуре 300–800°C. Более толстые

листы сначала поступают на первый холодильник, а затем при 200–500°C подаются в правильную машину. На стане имеются две линии резки, оборудованные сдвоенными боковыми и поперечными ножницами для обрезки боковых кромок и разделки листов толщиной 5–50 мм на мерные длины.

В настоящее время 80–90% горячекатаной листовой стали производится на непрерывных и полунепрерывных широкополосовых станах, что объясняется более высокими технико-экономическими показателями работы этих станов по сравнению со станами другого типа.

Чистовые группы ПШС состоят из 5–7 клеток. Как правило, перед группой устанавливается двухклетевый окалинломатель. Современные ПШС являются мощными высокопроизводительными агрегатами. Следует отметить, что эти станы имеют определенные достоинства по сравнению с НШС, к которым относятся: большая гибкость технологического процесса и возможность прокатки широкого сортамента листов; возможность прокатки листов из труднодеформируемых марок сталей; возможность прокатки листов с шириной, большей ширины слябов; меньшая масса и стоимость механического и электрического оборудования стана; меньшая длина проката цеха.

Полунепрерывный широкополосный стан 2800/1700 предназначен для прокатки толстых листов толщиной 4–40 мм, шириной до 2500 мм и тонких листов толщиной 1,8–4 мм, шириной до 1500 мм (рис.148).

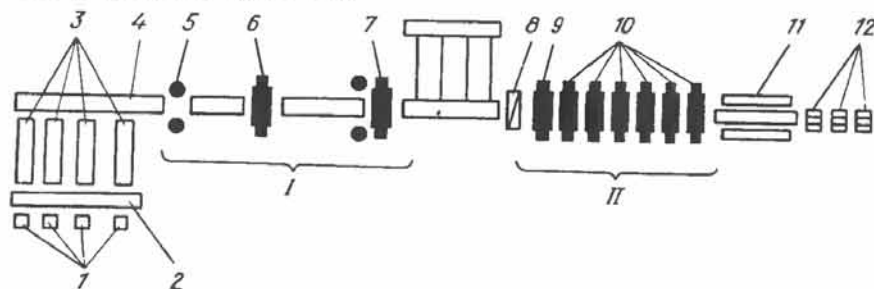


Рис. 148. Схема расположения оборудования полунепрерывного широкополосного стана 2800/1700:

I — черновая группа; II — чистовая группа; 1 — толкатель; 2 — загрузочный рольганг; 3 — методические печи; 4 — присмный рольганг; 5 — вертикальная клетка; 6 — черновая двухвалковая клетка; 7 — черновая универсальная четырехвалковая клетка; 8 — летучие ножницы; 9 — чистовой двухвалковый окалинломатель; 10 — чистовая группа четырехвалковых клеток; 11 — душирующее устройство; 12 — моталки

Стан 2800/1700 имеет в своем составе четыре нагревательные печи, клетку с вертикальными валками, черновые реверсивные двухвалковые клетки и универсальную четырехвалковую клетку, летучие ножницы, чистовой двухвалковый окалинломатель, шесть чистовых четырехвалковых клеток и две линии отделки: одну для толстых листов после черновой группы и вторую — для тонких листов в рулонах. Современными отечественными ПШС являются непрерывные многоклетевые станы (13–15 клеток с окалинломами) с длиной бочки валков 1700–2500 мм, производительностью до 4–6 млн.т проката в год.

Непрерывный широкополосный стан 2000 (рис.149) предназначен для прокатки рулонной стали толщиной 1,2–12 мм, шириной 900–1850 мм со смоткой в рулоны.

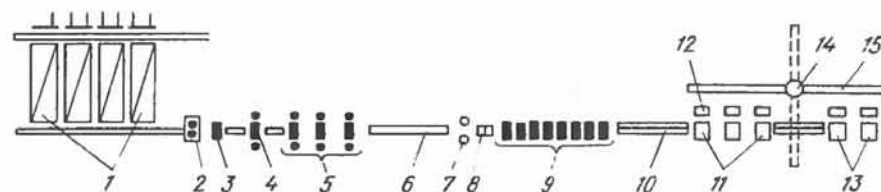


Рис. 149. Схема расположения оборудования непрерывного широкополосного стана 2000:

1 — нагревательные печи; 2 — вертикальная черновая двухвалковая клетка — окалинломатель; 3 — двухвалковая клетка; 4 — универсальная четырехвалковая клетка; 5 — непрерывная трехклетевая подгруппа универсальных четырехвалковых клеток; 6 — промежуточный рольганг; 7 — летучие барабанные ножницы; 8 — чистовой окалинломатель; 9 — непрерывная чистовая группа; 10 — отводящие душирующие рольганги; 11 — моталки для полосы толщиной 1,2–4 мм; 12 — тележка с кантователем рулонов; 13 — моталки для полосы толщиной 4–16 мм; 14 — поворотный стол для рулонов; 15 — транспортеры рулонов

В состав стана входят четыре нагревательные печи с шагающими балками. Черновая группа клеток состоит из шести, а чистовая — из семи клеток. Первой на стане является клетка с вертикальными валками — окалинломатель, затем расположена двухвалковая горизонтальная клетка. В группу также входят четыре универсальные клетки. Особенностью стана является объединение трех черновых клеток в непрерывную группу, что позволяет сократить черновую группу и повысить температуру проката толщиной 25–50 мм, поступающего в чистовые клетки.

Кроме рабочих клеток в состав черновой группы входят устройства для гидросбива окалины с поверхности подката

водой высокого давления (11–13 МПа), рабочие рольганги, направляющие линейки и промежуточный рольганг со сбрасывателем подката с линии стана (в случае пониженной температуры металла).

Чистовая группа состоит из роликового двухвалкового окалиноломателя и семи четырехвалковых клетей. Перед чистовым окалиноломателем установлены летучие ножницы для обрезки переднего и заднего концов подката толщиной 25–50 мм и шириной до 1850 мм при температуре 950–1150°C; скорость резания составляет 0,4–2 м/с. Между чистовыми клетями расположены петледержатели, обеспечивающие натяжение подката в процессе прокатки; устройства для гидросбива окалины, которые также используются и для понижения температуры прокатываемого металла, а также направляющие линейки и проводки.

После прокатки в чистовой группе полосы сматываются в рулоны или на трех моталках, предназначенных для смотки полос толщиной 1,2–8 мм и шириной 900–1850 мм, или на двух моталках — для смотки полос толщиной 4–16 мм и шириной также 900–1850 мм. Максимальный наружный диаметр рулона достигает 2300 мм, масса 36 т.

Далее установлены кантователи для кантовки рулонов в вертикальное положение, конвейер рулонов с весами, устройством для маркировки и транспортировки рулонов или в цех холодной прокатки для дальнейшей обработки металла или в отделение отделки горячекатаных рулонов.

Для горячей прокатки труднодеформируемой стали применяют станы с моталками в печах. Стан 1200 (рис.150) предназначен для прокатки полос толщиной 1,75–4 мм и шириной 600–1050 мм из электротехнических сталей. В состав стана входят две печи, моталки, тянущие ролики и четырехвалковая клеть. Кроме того, линия прокатки стана оборудована

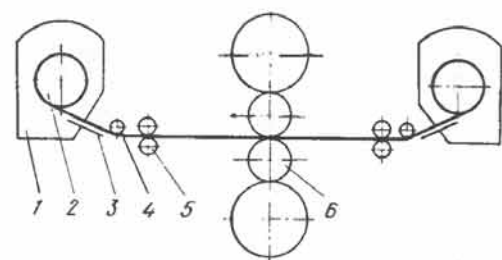


Рис.150. Схема расположения оборудования стана с печными моталками:
1 — печи; 2 — моталки; 3 — проводки; 4 — направляющие ролики; 5 — тянущие ролики; 6 — четырехвалковая клеть

рольгангами для подачи подката и выдачи рулонов, проводками, направляющими роликами и др.

2. Технология прокатки горячекатаных листов

Общая схема технологического процесса толстых листов включает в себя подготовку металла к нагреву; нагрев; прокатку; правку в горячем состоянии; охлаждение; резку; термообработку; холодную правку; механические испытания; удаление дефектов; упаковку. В зависимости от типа стана, схемы размещения оборудования, марок прокатываемых сталей те или иные элементы указанной схемы могут быть изменены или исключены.

Подготовка исходного металла (слитков или слябов) к нагреву заключается в осмотре поверхности и удалении обнаруженных поверхностных дефектов при помощи газовой огневой или абразивной зачистки.

Нагрев слябов производится в методических печах, а слитков — в колодцах. Вследствие интенсивного охлаждения листов в процессе прокатки нагрев осуществляется до возможно высокой температуры. В зависимости от химического состава прокатываемого металла она лежит в пределах 1150–1280°C. Продолжительность нагрева зависит от толщины исходного металла, марки стали и температуры при его посадке в печь или колодец.

При прокатке толстых листов на толстолистовых станах в зависимости от их конструкций, размеров исходного металла и готового листа, требований к качеству листов применяют различные схемы прокатки.

Схемы прокатки толстых листов из слитков включают:

устранение конусности и ребристости слитка продольной прокаткой за 3–4 пропуска;

получение необходимой ширины листа из более узкого слитка путем поперечной прокатки за необходимое количество пропусков. Прокатка раската осуществляется в горизонтальной плоскости на угол (т.е. между осью валков и большой осью раската угол равен 9–12°) или под прямым углом:

получение необходимых толщины и длины путем продольной прокатки за необходимое количество пропусков. Перед продольной прокаткой производится кантовка на 90°.

В зависимости от соотношения ширины сляба и готового листа прокатку осуществляют различными способами.

1. При ширине сляба, равной ширине листа с необрезанными боковыми кромками, сляб прокатывают вдоль до необходимой толщины и длины листа с пропусками для обрезки переднего и заднего концов.

2. В случае если ширина сляба меньше ширины листа, прокатка осуществляется в три стадии. На первой стадии толщина сляба выравнивается продольной прокаткой; на второй — поперечной прокаткой с поворотом листа на 90° добиваются необходимой ширины листа, а на третьей — еще после одного поворота раската на 90° продольной прокаткой добиваются необходимой толщины листа.

3. Прокатка сляба в поперечном направлении, если ширина сляба меньше ширины листа. В этом случае ширина листа получается из длины, а длина его — из ширины сляба.

При прокатке толстых листов большое влияние на качество поверхности листов оказывает окалина. Для удаления окалины применяют ее гидросбив водой высокого давления и валки со специальной поверхностью. Под воздействием воды окалина растрескивается. Образующийся пар разрушает ее и отрывает от поверхности.

К валкам со специальной поверхностью относятся лунчатые и клетчатые валки (рис.151). В ходе прокатки в выемки в валках (лунки, клетки) попадает вода, которая при захвате горячего металла валками мгновенно превращается в пар высокого давления. При выходе выемок из очага деформации происходит сильное взрывоподобное извержение пара с поверхности прокатываемого металла, благодаря чему взламывается и выбрасывается окалина. Этот способ удаления окалины называется паровзрывным. При дальнейшей прокатке в чистовых клетях на гладких валках неровности от углублений на поверхности листов заглаживаются и качество листов получается вполне удовлетворительным.

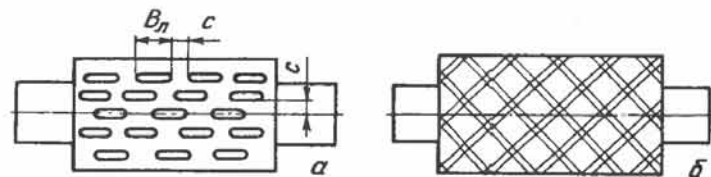


Рис. 151. Схемы лунчатых (а) и клетчатых (б) валков

Все большее распространение получает в последнее время *контролируемая прокатка листов*, обеспечивающая высокий уровень предела прочности и ударной вязкости в сочетании с высокой обрабатываемостью и свариваемостью. Это особенно важно для толстолистовой стали, которая применяется при изготовлении труб большого диаметра, работающих в условиях низких температур. Процесс контролируемой прокатки заключается в нагреве исходного металла до сравнительно низкой температуры, равной $1100-1150^\circ\text{C}$, и в прокатке в последних пропусках при температуре $720-800^\circ\text{C}$ с относительным обжатием не ниже $15-20\%$. При этом механические характеристики металла возрастают: ударная вязкость в 2,2 раза, предел текучести в 1,15 раза, предел прочности в 1,07 раза, а относительное удлинение уменьшается в 1,18 раза. Контролируемая прокатка — сложный технологический процесс и осуществляется при строгом соблюдении температурного и временного режимов.

При прокатке слитков особое внимание обращают на *формирование боковых поверхностей раската*. Это формирование осуществляют, как и предотвращение возникновения дефектов на боковых поверхностях, или с помощью ребровых проходов, или при помощи вертикальных валков.

После прокатки листов производится их *горячая правка* на роликовых правильных машинах. Роликовые правильные машины для горячей правки имеют 7—13 роликов и снабжены опорными роликами (рис.152). Число роликов увеличивается с уменьшением толщины листа. Диаметр правильных роликов равен 200—300 мм, точность правки — 1 мм/м, а скорость правки зависит от сортамента и типа машины и составляет 0,2—1,5 м/с.

Температура правки для листов толщиной до 40 мм составляет $650-700^\circ\text{C}$, а иногда $700-750^\circ\text{C}$. Максимальная толщина листов, правку которых проводят в настоящее время на роликовых машинах, достигает 100 мм. Охлаждение толстых листов осуществляется при их транспортировке по роликовым конвейерам и стеллажам — холодильникам. После охлаждения листы осматриваются на инспекторских столах с обеих сторон, оборудованных кантователем для кантовки листов на 180° . После осмотра производят порезку листов. Для обрезки боковых кромок листов толщиной менее 30 мм в холодном состоянии применяют дисковые ножницы, для листов толщиной

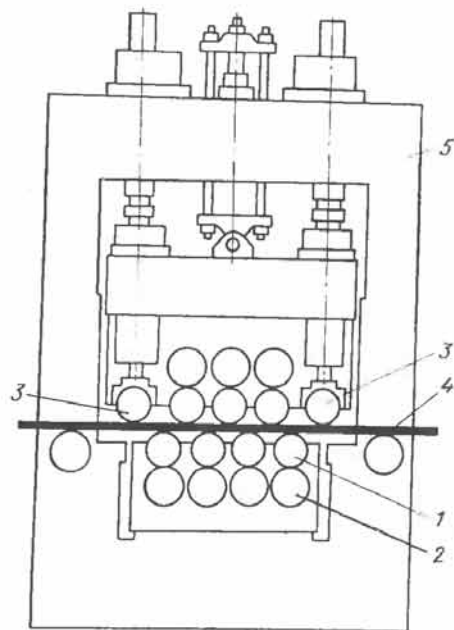


Рис. 152. Схема роликовой машины для правки толстых листов в горячем состоянии: 1 — правильные ролики; 2 — опорные ролики; 3 — входной и выходной ролики; 4 — лист; 5 — станина

более 30 мм — гильотинные. Для обрезки концов раскатов и порезки их на мерные длины также применяют гильотинные ножи.

Для получения заданных свойств применяется *термическая обработка* листов. В зависимости от марок стали и уровня требуемых свойств применяют нормализацию, закалку с отпуском, замедленное охлаждение и высокотемпературный отпуск.

Для нормализации и закалки с отпуском нагрев металла осуществляется в проходных роликовых печах, а высокотемпературный отпуск — в колпаковых печах.

При нормализации листы подвергают нагреву до температуры 850–950°C, а затем — быстрому охлаждению на воздухе. При закалке с отпуском листы вначале нагреваются до температуры 850–900°C, а затем быстро охлаждаются водой под специальным прессом. Закаленные листы отпускаются при температуре 600–700°C в течение примерно двух часов. После отпуска листы охлаждаются под закалочным прессом.

Замедленное охлаждение толстых листов осуществляется от температуры конца прокатки в штабелях.

Высокотемпературный отпуск проводят при нагреве листов до температуры 680–700°C с последующим охлаждением вместе

с печью. Поверхностные дефекты удаляют с помощью передвижных наждачных машин, дробеструйных устройств и др.

Исходными заготовками для производства листа на двухклетевом толстолистовом стане 3000 (рис.146) являются непрерывнолитые слябы толщиной 200–315, шириной 1250–1900, длиной 2500–2800 мм и массой 4,9–13,0 т, а также катаные слябы толщиной 100–240, шириной 1100–1550, длиной 2500–2800 мм и массой 2,1–8,5 т

Схема технологического процесса на стане при производстве толстых листов контролируемой прокаткой предусматривает нагрев слябов в нагревательных печах до температуры 1050–1100°C; сбив окалины с поверхности нагретых слябов в камере гидросбива водой под давлением 17 МПа; прокатку слябов в черновой четырехвалковой клетки, осуществляемую при температуре 1050–960°C, во время которой периодически осуществляется гидросбив окалины водой высокого давления; подстуживание раскатов до 780°C перед прокаткой в чистовой клетки, осуществляемое на рольгангах между клетями и устройствами для охлаждения раскатов. Подстуживание происходит при движении раскатов с расчетом ведения прокатки в чистовой клетки без остановок для подстуживания; прокатку в чистовой клетки до заданной толщины листа. При этом при достижении раскатом трехкратной толщины готового листа прокатка производится с обжатиями 15–20% в каждом пропуске. Для листов толщиной 24–25 мм прокатка с такими обжатиями допускается из раскатов толщиной 70 мм. Прокатка завершается при 730–750°C. Минимально допустимая температура конца прокатки для листов всех толщин 700°C. Затем охлаждают листы на воздухе до температуры правки 600–700°C, осуществляют отделку листов, включающую горячую правку, обрезку концов и поперечную резку, охлаждение на холодильниках до 100°C, вырезку проб, осмотр и удаление поверхностных дефектов, обрезку боковых кромок, дефектоскопический контроль, контроль качества, приемку и маркировку готовых листов.

При необходимости листы подвергаются дополнительной зачистке и правке, вырезке дефектов, термообработке (закалке и отпуску) с последующей правкой.

Толстые листы и плиты на трехклетевом стане 3600 (рис.147) получают из слябов массой 16 т и слитков массой

до 40 т из конструкционной, низколегированной стали и высоколегированной стали.

При прокатке плит слитки, нагретые в нагревательных колодцах, клещевым краном устанавливают в стационарный опрокидыватель, опрокидывают на приемный рольганг, разворачивают на 180° поворотным устройством и донной частью (узким концом) по рольгангу подают к двухвалковой клети с вертикальными валками, в которой за 3–5 пропусков снимается конусность боковых граней слитка, разрушается слой окалины, которая затем удаляется гидросбивом. В черновой четырехвалковой клети разбивают ширину плит с поворотом слитка на 90° , а затем уширенный слиток после вторичного поворота на 90° прокатывают до требуемой толщины. После прокатки клеймовочной машиной на хвостовой части плит проставляются марка стали, номер плавки, номер слитка и с помощью сталкивателей плиты укладываются в пакет по 2–8 шт. массой до 90 т и транспортируются в пролеты замедленного охлаждения, огневой резки и зачистки. При необходимости плиты термически обрабатываются в камерных печах с выдвижным подом.

При прокатке толстых листов слябы со склада подаются на печной загрузочный рольганг и загружаются в четыре методические печи. Нагретые слябы поступают к вертикальной клети, в которой взрыхляется печная окалина и калибруется ширина по длине сляба.

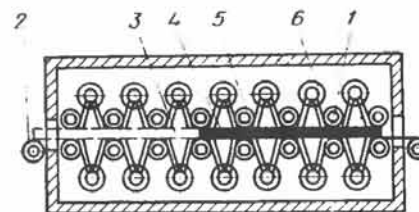
В черновой реверсивной клети сляб поворачивается на 90° и производится разбивка его ширины, после чего сляб кантуется на 90° и прокатывается в продольном направлении, при этом получается в черновой клети раскат толщиной 20–75 мм, у которого периодически обжимаются боковые кромки в клети с вертикальными валками. Затем раскат прокатывается в чистовой реверсивной клети до требуемой толщины.

После прокатки листы толщиной 5–50 мм по рольгангу транспортируются к роликовой закалочной машине, где толстые листы закаливаются с прокатного нагрева или листы толщиной 5–10 мм охлаждаются до 550°C (рис.153). После обрезки передних и задних концов на ножницах или порезки на мерные длины полосы направляются на дальнейшую отделку.

Общая схема технологического процесса производства

Рис. 153. Схема закалочной роликовой машины:

1 — лист; 2 — подающие ролики; 3, 4 — камеры подачи воды высокого и низкого давлений; 5 — приводные реверсивные ролики для качательного движения листа; 6 — коллекторы для подачи воды



тонколистовой горячекатаной стали включает подготовку металла к нагреву, нагрев, прокатку, охлаждение, смотку в рулоны и отделку листа.

Исходной заготовкой для ПШС и НШС на современных металлургических заводах являются слябы, прокатанные на блюминге, слябинге или отлитые на МНЛЗ. Сортамент слябов по ширине до 2000 мм, по толщине — 120–300 мм, по длине до 10,5 м.

При прокатке на НШС широко используется *горячий всад* в нагревательные печи. В этом случае слябы, прошедшие МОЗ и резку на ножницах, поступают в нагревательные печи. В некоторых случаях количество слябов горячего всада достигает 85%. Небольшое количество холодных слябов после осмотра проходят зачистку и также поступают в нагревательные печи.

Нагрев слябов осуществляется в методических печах с торцевой посадкой и выдачей. В последнее время широко применяются печи с шагающим подом, позволяющие нагревать слябы более равномерно по всему сечению, а применение на них разгружающего устройства исключает повреждение нижних поверхностей слябов. Температура нагрева слябов зависит от химического состава стали и находится в пределах $1150\text{--}1280^\circ\text{C}$. Продолжительность нагрева зависит от толщины слябов, химического состава стали и температуры при их посадке.

Прокатка тонколистовой горячей стали на ПШС и НШС, как правило, осуществляется в черновой и чистовой группах рабочих клетей, последовательно расположенных друг за другом. Основной задачей прокатки в черновых клетях является удаление окалины с поверхности слябов и получение необходимых размеров подката для чистовой группы. Окалину удаляют при помощи клетей с вертикальными валками и черновых двухвалковых (или четырехвалковых) окалиноломателей. Кроме того, окалина удаляется гидросбивом. Процесс прокатки в

черновых клетях производится без раскатки ширины, если ширина сляба больше ширины листа, и с раскаткой ширины, если ширина сляба меньше ширины листа. Толщина раскатов, выходящих из черновой группы клетей, обычно равна 40 мм и зависит от числа клетей в чистовой группе. Суммарное обжатие в черновых клетях составляет примерно 80% от общего обжатия. Большое влияние в процессе прокатки оказывает изменение температуры металла. Большая протяженность черновой группы приводит к значительному падению температуры раскатов, которое достигает 60–120°C в зависимости от протяженности группы клетей и толщины раскатов. Для снижения падения температуры в черновых клетях на станах между черновыми и чистовыми группами устанавливаются тепловые или теплоотражательные экраны или печи для подогрева раската. Затем раскат передается к чистовой группе клетей. Прокаткой достигаются требуемые размеры полосы по толщине, необходимая точность геометрических размеров, форма полосы и заданный уровень механических свойств. При задаче раската в чистовую группу клетей на летучих ножницах, установленных перед чистовыми окатиноломателями, обрезаются передний и задний концы. При этом чистовой окатиноломатель обеспечивает обжатие 5–10%, что вполне достаточно для взламывания окалины. Относительное обжатие в клетях чистовой группы примерно одинаково (40–45%). Однако в целях снижения разнотолщинности по ширине готовых листов обжатие в предчистовой клетке уменьшается до 20–25, а в чистовой — до 10–12%. В зависимости от марки стали и толщины прокатываемой полосы температура конца прокатки находится в пределах 800–930°C. Для регулирования температуры полосы при смотке в рулоны над отводящим рольгангом устанавливаются душирующие устройства (рис.43,а). При смотке температура полосы лежит в пределах 600–650°C. Рулоны листовой стали толщиной 1,5–12 мм раскраивают на агрегатах непрерывной резки. Затем обрезают боковые кромки, раскат правят, сортируют, маркируют, укладывают в стопы, взвешивают и упаковывают в пачки. Далее осуществляют термическую обработку и отделку тонколистовой горячекатаной стали на установленных в цехах агрегатах.

На ПШС и НШС кроме прочих отделочных операций осуществляется травление листовой стали, роспуск рулонов на полосы и др. На полунепрерывном широкополосном стане

2800/1700 слябы толщиной 125–250 мм, шириной до 1500 мм, длиной до 6 м и массой до 8,5 т после осмотра и ремонта загружаются в методические печи. Нагретые до температуры прокатки слябы из методических печей с торцевой выдачей толкателем выдаются на приемный рольганг и транспортируются к вертикальной клетке, где производится обжатие боковых кромок и удаление окалины с поверхности слябов. Затем в черновой двухвалковой клетке производится прокатка раската за несколько пропусков. Далее раскат прокатывается в черновой четырехвалковой клетке за несколько пропусков и передается рольгангом к чистовой группе. На летучих ножницах производится обрезка переднего и заднего концов раската, а в чистовом окатиноломателе — удаление вторичной окалины с использованием также ее гидросбива. Очищенный от окалины раскат прокатывается в четырехвалковых клетях чистовой группы. После выхода из последней клетки непрерывной группы происходит охлаждение полосы с помощью душирующих устройств и смотка моталками в рулоны. Смотанные полосы поступают на отделку или в цех холодной прокатки для дальнейшей переработки.

На непрерывном широкополосном стане 2000 (рис.149) в качестве исходного металла применяются слябы, отлитые на МНЛЗ, толщиной до 300, шириной 800–1850 мм, длиной до 10,5 м, массой до 36 т из углеродистых, конструкционных и легированных марок стали.

Прошедшие осмотр и подготовку к нагреву слябы загружаются в нагревательные печи. Нагретые до температуры прокатки (1150–1280°C) слябы из печей выдаются на приемный рольганг и транспортируются к вертикальной клетке, где производится обжатие боковых кромок и удаление окалины с поверхности слябов. Затем раскат поступает в черновой окатиноломатель, где производится окончательное удаление печной окалины. После этого раскат последовательно прокатывается в черновых четырехвалковых универсальных клетях до получения необходимой толщины подката.

После черновой группы подкат рольгангом подается к летучим ножницам, на которых производится обрезка переднего и заднего концов раската, а затем — в чистовой окатиноломатель для удаления вторичной (воздушной) окалины. После очистки окалины передний конец раската, проходя через чистовые клетки непрерывной группы, обрезается на летучих

ножницах и на скорости 10–12 м/с задается в моталку, после чего производится непрерывный процесс прокатки до требуемой толщины полосы. При необходимости полоса после прокатки охлаждается водой при помощи душирующих устройств. Полосы, смотанные в рулоны, направляются на отделку или в цех холодной прокатки для дальнейшей переработки.

В качестве исходного металла на стане 1200 с печными моталками используются слябы размерами 150–210 × 880–1000 × 4000–4700 мм и массой 4–4,5 т. Технология прокатки на стане в соответствии с его схемой (рис.150) состоит в том, что передний конец подката прокатывается в четырехвалковой клети и с помощью тянущих роликов, проводки, направляющих роликов задается в печь и наматывается на моталку при температуре в печи, равной 1000°C. После первого пропуска клеть реверсируется и задний конец раската с помощью тянущих и направляющих роликов проводки наматывается на моталку, размещенную в противоположной печи. После второго пропуска клеть реверсируется, а прокатка осуществляется за требуемое число пропусков.

На листовых станах с печными моталками прокатывают трансформаторную, нержавеющую и другие легированные стали. Основными достоинствами этих станов являются возможность прокатки труднодеформируемых марок сталей, меньшие стоимости и масса оборудования по сравнению с ПШС и НШС. Недостатки — это низкая производительность, невысокое качество поверхности полосы, повышенная поперечная и продольная разнотолщинность, сложные условия работы узлов моталок в печи.

3. Профилировка валков листопрокатных станов и повышение точности размеров прокатываемых листов

Получение листов одинаковой толщины по их ширине и длине возможно лишь при учете комплекса факторов, влияющих на формирование профиля валков в процессе прокатки. Поверхность бочки валков изготавливается выпуклой или вогнутой. Профилировка может быть выполнена на одном валке или распределена между валками четырехвалковой клети. Для получения необходимого профиля валков необходимо знать параметры, входящие в уравнение (56).

Прогиб валков (f) образуется в результате давления на них металла. Причем чем больше давление, тем больше величина прогиба.

Тепловая выпуклость валков ΔD , получаемая в результате теплового их расширения, возникает в процессе пластической деформации, высокой температуры металла и наличия контактного трения в очаге деформации. Причем расширение материала валков, а значит, и увеличение их диаметров неравномерно. Середина бочки валка разогревается больше, чем ее края, что и ведет к выпуклости валка.

Вследствие давления металла на валки возникает упругое сплющивание валков Δg , которое также будет изменяться по ширине прокатываемой полосы и вносить свою долю в профиль валков.

Профиль валков заметно искажается в результате их износа $\Delta D_{\text{и}}$. Износ поверхности валков происходит по ряду причин, к которым относятся материал валков, давление прокатываемого металла и его химический состав, температуры полосы и валков, чистота поверхности полосы и обработка валков и др.

Валки листовых станов работают в очень сложных условиях. Учет всех факторов, определяющих профилировку бочки валков, весьма затруднителен, что обуславливает эмпирический подход к определению их профиля. На практике применяются различные профилировки рабочих и опорных валков (рис.154). Здесь под выпуклостью бочка валка понимается

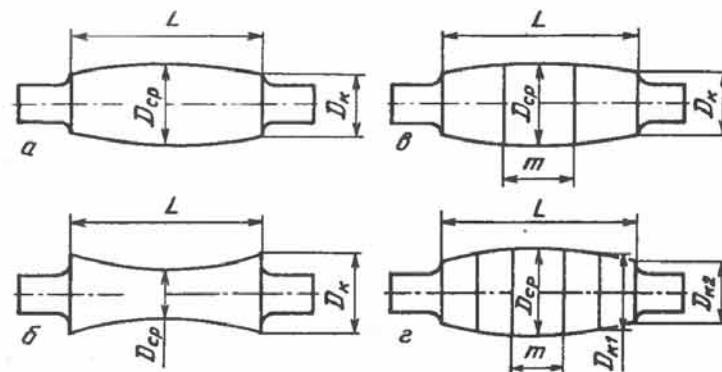


Рис. 154. Формы профилированных валков: а — выпуклый, $D_{\text{ср}}-D_{\text{к}}$; б — вогнутый, $D_{\text{к}}-D_{\text{ср}}$; в — конусный, $D_{\text{ср}}-D_{\text{к}}$; г — конусный, $D_{\text{ср}}-D_{\text{к1}}$ и $D_{\text{ср}}-D_{\text{к2}}$

разность диаметров по середине $D_{ср}$ и краю D_k бочки. Это же определение относится и к вогнутости бочки валка, но при выпуклости разность будет положительной, а при вогнутости отрицательной. В настоящее время точности размеров и формы листовой стали (одному из основных показателей ее качества) уделяется особое внимание. Основными показателями точности размеров и формы листов являются *продольная и поперечная разнотолщинность и их плоскостность*. Одним из методов уменьшения продольной разнотолщинности является увеличение жесткости прокатной клетки, которая характеризуется появлением упругой деформации станины в вертикальном направлении в процессе прокатки. Жесткость клетки можно увеличить двумя путями: за счет увеличения основных деталей клетки и за счет предварительного напряжения клетки при уменьшении ее массы и габаритов. Второй путь является более эффективным. На рис.155 показана обычная четырехвалковая клетка, в которой повышение жесткости достигается установкой гидроцилиндров между подушками опорных валков.

Самым эффективным методом снижения продольной раз-

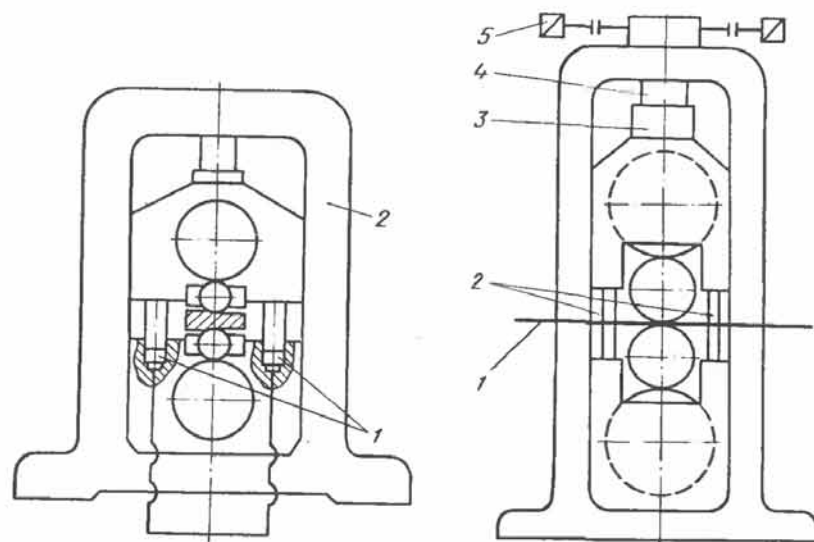


Рис. 155. Схема предварительно напряженной четырехвалковой клетки:
1 — гидроцилиндры; 2 — станина

Рис. 156. Схема четырехвалковой клетки с комбинированной САРТ:
1 — полоса; 2 — цилиндры распора; 3 — месдоза; 4 — нажимной винт; 5 — на-

толщинности является применение систем автоматического регулирования толщины полосы (САРТ). При помощи этой системы компенсируется упругая деформация рабочей клетки, возникающая в процессе прокатки. Сигналом для регулирования служит отклонение толщины полосы, которое преобразуется в соответствующий импульс, изменяющий зазор между валками с помощью нажимных устройств. Среди существующих гидромеханических, электрических и комбинированных САРТ эффективно используются на НШС комбинированные. Регулирование медленно изменяющегося отклонения толщины полосы (рис.156) в клетке реализуется с помощью сигнала, поступающего от месдозы в двигатель нажимного устройства, который перемещает нажимной винт. Регулирование быстро изменяющегося отклонения толщины полосы осуществляется с помощью сигнала, поступающего от месдозы в цилиндры распора. Комбинированная САРТ позволяет использовать преимущества электрического и гидравлического приводов.

Существует несколько методов снижения поперечной разнотолщинности листов. Она уменьшается в случае применения оптимальной профилировки валков. Однако при наличии широкого сортамента по толщине и ширине листов необходимо иметь большой парк валков с различной их профилировкой. В настоящее время все большее распространение получают системы автоматического регулирования профиля валков (САРПВ), которые путем изгиба рабочих и опорных валков позволяют регулировать величину их прогиба. Принудительный изгиб осуществляется с помощью гидромеханических устройств в плоскости, перпендикулярной поверхности полосы. Применяют три способа изгиба валков клетей кварто (рис.55). По первой схеме силы изгиба рабочих валков совпадают с силами прокатки. По второй схеме силы изгиба противоположны действию сил прокатки. По третьей схеме осуществляется изгиб опорных валков, а силы изгиба приложены к шейкам валков. Уменьшение волнистости и коробоватости может быть достигнуто рациональной профилировкой валков, их тепловой регулировкой и изгибом, а также перемещением нажимных винтов. Эти средства воздействия на форму раската могут применяться как в отдельности, так и в любых сочетаниях.

4. Дефекты горячекатаных листов

К основным дефектам горячекатаных листов относятся неудовлетворительные механические свойства, неточность размеров, неплоскостность листов и поверхностные дефекты.

Неудовлетворительные механические свойства получаются из-за несоответствия химического состава при выплавке стали и нарушения режимов технологического процесса прокатки. К нарушениям технологии прокатки относятся неправильные температуры или режимы нагрева и прокатки, режимы охлаждения проката и термической обработки. К неточности размеров листов относятся тонкие, толстые, узкие и широкие листы и полосы; серповидность; продольная и поперечная разнотолщинность; разная толщина кромок.

Узкие и широкие толстые листы в основном получаются вследствие неправильной раскатки ширины в черновой клетке. Тонкие, толстые, узкие и широкие полосы получаются при прокатке слябов с различной температурой из-за их неодинакового нагрева в печах, при переходе стана с одного профиля на другой, из-за большого натяжения полосы между клетями, при продольной резке полос из-за неправильной настройки дисковых ножниц.

Серповидность возникает при перекосе валков в вертикальной плоскости или при прокатке в сильно изношенных валках из-за неравномерного обжатия кромок. *Продольная и поперечная разнотолщинность* листов и полос, причины их возникновения и способы уменьшения изложены выше. При дальнейшей прокатке разнотолщинных по ширине листов возникает различная величина вытяжки, что при дальнейшей прокатке может привести к коробоватости или волнистости. При прокатке толстолистовой стали могут получаться у листов *кройки разной толщины*. Причинами этого дефекта могут быть перекос валков в вертикальной плоскости, смещение полосы относительно оси стана, неодинаковая температура по ширине листа, неравномерная выработка или неравномерный нагрев по длине бочки.

К неплоскостности листов и полос следует отнести такие дефекты, как волнистость и коробоватость.

Волнистость, кроме упомянутого случая, образуется также при перегреве краев бочки валка или неравномерности распределения износа валков. В этих случаях вблизи кромок

раската деформация металла осуществляется валками большего диаметра, что приводит к большей вытяжке металла. Возникающая неравномерность деформации по ширине приводит к потере устойчивости раската вблизи кромок.

Коробоватость образуется при большой выпуклости валков или перегреве середины бочки валка. В этих случаях посередине раската деформация осуществляется валком с большим диаметром, т.е. с большей вытяжкой. В результате происходит потеря устойчивости раската посередине.

Неудовлетворительная поверхность листов может получаться вследствие вкатанной окалины в металл, закатывания шлака, из-за чего на поверхности листов образуются вмятины и рябизна. Окалина портит поверхность листов и полос, приводит к местному уменьшению их толщины, а также вызывает повышенную выработку поверхности валков.

На поверхности листов и полос встречаются *возвышения или углубления*, причиной образования которых являются вмятины, царапины, глубокая сетка разгара, неровности и другие дефекты поверхности валков. *Царапины и риски* в большинстве случаев образуются на нижней поверхности горячекатаных листов и полос при их транспортировке, а также при смотке полос в рулоны, порезке на листы и ленты. Причинами возникновения царапин являются выработка отдельных роликов рольгангов, наличие забоин, раковин, царапин на роликах моталок и проводках и др.

5. Производительность станов горячей прокатки листов

Технически возможная часовая производительность листопрокатных станов, как и для других прокатных станов, определяется по формуле $A = 3600G/T$, а практическая часовая производительность

$A = 3600Gk_n/T$ где G — масса исходного сляба, т; T — ритм прокатки, с; k_n — коэффициент использования стана. Как и для сортовых станов, коэффициент использования стана, учитывающий простой стана без останова главных двигателей, лежит в пределах 0,85—0,90. Большее значение коэффициента относится к непрерывным станам.

Для двухклетевого стана с последовательным расположением клетей ритм прокатки зависит от распределения общего

числа проходов по клетям. Если каждая клетка будет одинаково загружена, то по времени ритм прокатки будет минимальным. Для непрерывных станов ритм прокатки определяется в зависимости от принятого метода работы на них. Так, если ширина поступающих на стан слябов соответствует ширине готовых листов, то прокатка слябов в поперечном направлении не производится. В черновых клетях раскат прокатывается последовательно, а в чистовых — прокатка осуществляется непрерывным способом. Как правило, время прохода раската в черновых клетях меньше, чем в чистовых. Поэтому ритм прокатки $T = \tau_m + \tau_n$, где τ_m — машинное время прохода в одной клетке чистовой группы, одинаковое для остальных клеток чистовой группы; τ_n — время паузы между концом прокатки предыдущего раската и началом прокатки следующего раската для одной клетки чистовой группы. При данной скорости ритм прокатки в чистовой группе будет меньше, чем меньше пауза между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей полосы в одной клетке. С целью повышения производительности непрерывных листопрокатных станов увеличивают массу исходного металла и готового рулона, а также повышают скорости прокатки на стане.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются станы горячей прокатки листов?
2. Каковы особенности расположения оборудования толстолистовых станов?
3. Перечислите технологические операции, входящие в технологию прокатки толстых листов.
4. Дайте определение контролируемой прокатки.
5. Дайте определение полунепрерывных и непрерывных станов горячей прокатки листов.
6. Перечислите состав оборудования непрерывных станов горячей прокатки.
7. Определите схему технологического процесса прокатки горячекатаных тонких листов.
8. Какие методы термической обработки листов применяют в листопрокатных цехах?
9. Какие факторы учитываются при профилировании валков листопрокатных станов?

10. Какие параметры влияют на точность размеров и формы листовой стали?

11. Что такое САРТ и САРПВ?

12. Каковы основные дефекты листов и полосы горячей прокатки?

13. Как определяется производительность станов горячей прокатки листов и полосы?

14. За счет каких мероприятий возможно увеличение производительности листопрокатных станов горячей прокатки?

Глава 8. ПРОИЗВОДСТВО ХОЛОДНОКАТАНЫХ ЛИСТОВ

Производство холоднокатаных листов и полос, как и производство сортопрокатной продукции, является заключительным этапом третьего металлургического передела. Производимая в цехах холодной прокатки металлопродукция необходима для металлопотребляющих отраслей народного хозяйства: машиностроения, приборостроения, электротехнической промышленности и др. В настоящее время около 40–45% объема производства тонколистовой стали в нашей стране выпускается в виде холоднокатаных листов.

Холодной прокаткой изготавливают листы толщиной 0,35–2, шириной от 700 до 2300 мм и массой рулона, достигающей 45 т. При этом в качестве исходного металла применяется тонколистовая горячекатаная сталь толщиной от 1,8 до 6 мм, шириной от 700 до 2300 мм и массой рулона до 45 т.

Около 80% холоднокатаных листов изготавливается из низкоуглеродистой стали, около 15% — из средне- и высокоуглеродистой стали, около 7% — из низко- и среднелегированной и примерно 1,5% — из высоколегированных сталей (главным образом, нержавеющей).

Современные цехи холодной прокатки листовой стали включают в себя большое количество переделов и представляют собой большой и сложный комплекс машин и механизмов. В связи с этим капиталовложения при производстве холоднокатаных листов на 20–25%, а эксплуатационные расходы на 10% выше, чем при производстве горячекатаных листов.

Прокатные станы для холодной прокатки листов подразделяются на станы рулонной и листовой прокатки. Наиболее современным способом производства является рулонный.

По количеству клеток различают одноклетевые и многоклетевые прокатные станы. К первым относятся реверсивные и неререверсивные, ко вторым — непрерывные (рис. 157).

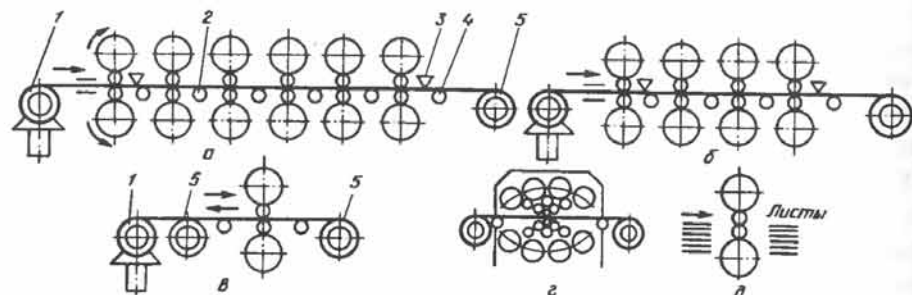


Рис. 157. Схема расположения клеток станов холодной прокатки: а — шестиклетевый непрерывный; б — четырехклетевый непрерывный; в — реверсивный; г — двенадцативалковый; д — неререверсивный; 1 — разматыватель; 2 — измеритель натяжения полосы; 3 — измеритель толщины полосы; 4 — направляющий ролик; 5 — моталка

По количеству валков в клетях различают двухвалковые, четырехвалковые и многовалковые (до 32 валков). Наиболее распространены четырехвалковые и двенадцативалковые. По виду выполняемой технологии различают станы для прокатки полос, дрессировочные, прокатно-дрессировочные и специального назначения.

Одноклетевые станы имеют небольшую производительность и на них прокатывают небольшие партии металла широкого сортамента, а также они служат для обработки малопластичных и труднодеформируемых сталей и сплавов.

Для непрерывных станов характерен большой объем годового производства достаточно крупных партий листа одного размера (не менее 300 тыс. т проката).

Основные технические характеристики современных станов холодной прокатки листа приведены в табл. 9.

Особенно высокие требования предъявляются к качеству поверхности холоднокатаных листов. Поверхность готовых листов должна быть матовой или глянцевой. На поверхности листов не допускаются плены, окалины, царапины, раковины, пузыри, расслоения, ржавчина, цвета побежалости и другие

Т а б л и ц а 9. Технические характеристики современных отечественных станов холодной прокатки листа

Стан	Количество рабочих клеток, ед.	Наибольшая скорость прокатки, м/с	Годовая производительность, тыс. т	Исходный металл (масса рулона), т	Готовая продукция (толщина), мм
Непрерывный:					
2500 . . .	4	15	1700	25	Листы и полоса 0,6—3
1700 . . .	5	25	1600	25	Листы и полоса 0,6—3
2030 . . .	5	33	2500	45	Листы и полоса 0,4—3,5
Непрерывный жестеппрокатный 1400 . . .	6	25—40	750	30	Жесть 0,1—0,6

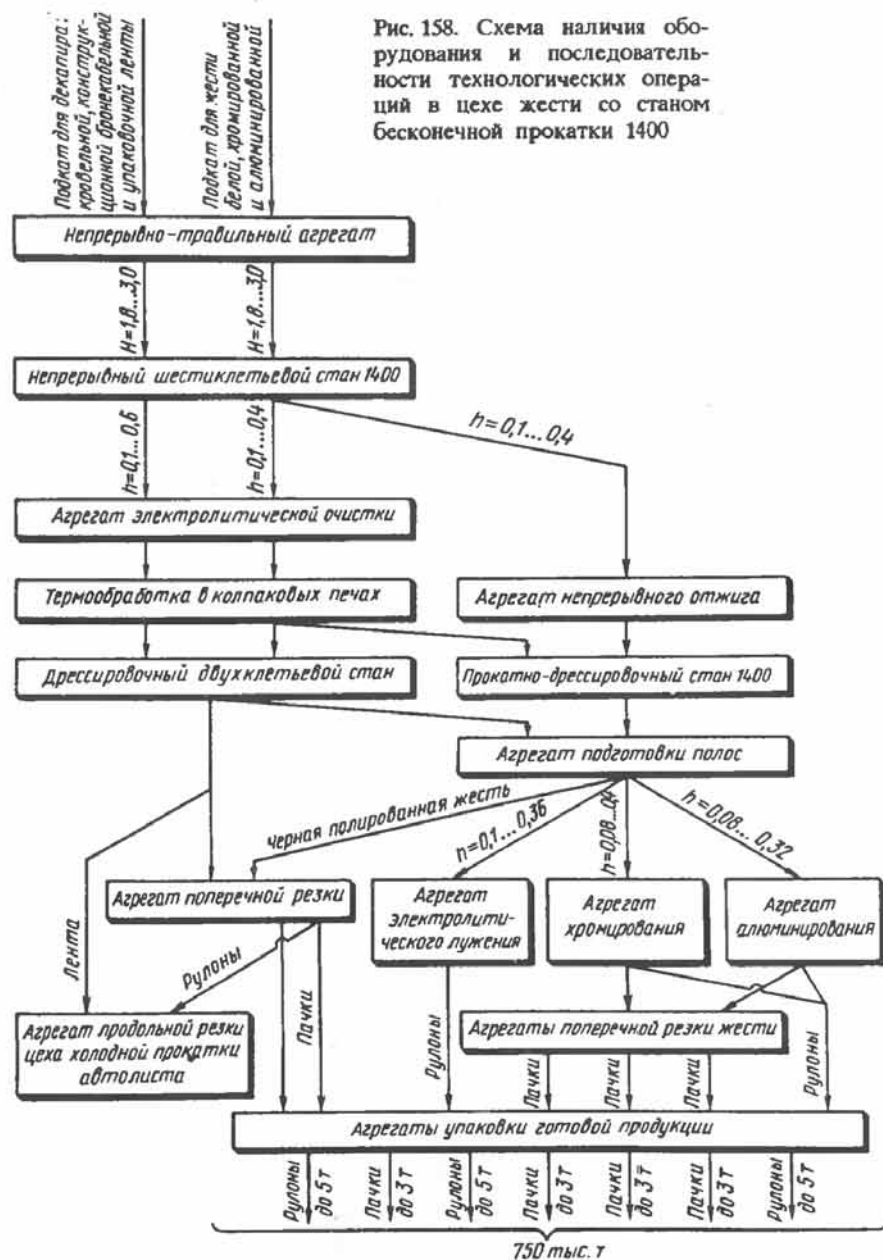
дефекты. По характеристике поверхности холоднокатаная листовая сталь подразделяется на четыре группы: особо высокой отделки поверхности; высокой отделки поверхности; повышенной отделки поверхности; нормальной отделки поверхности.

1. Станы холодной прокатки листов

Производство холоднокатаных листов осуществляется в цехах холодной прокатки, которые по технологическим потокам, насыщенности оборудованием являются сложными производственными объектами. О сложности процесса холодной прокатки можно судить по схеме расположения оборудования и последовательности технологических операций, имеющих в цехе жести с шестиклетевым станом бесконечной прокатки (рис. 158).

Непрерывные прокатные станы холодной прокатки листа устанавливают в цехах с большим объемом производства.

Непрерывные станы обычно состоят из 3—6 рабочих четырехвалковых клеток с индивидуальным приводом рабочих валков от электродвигателей через редукторы, шестеренные клетки и шпиндели. Трехклетевые станы предназначены для прокатки полос углеродистых и легированных сталей толщиной 2,5—4 мм с суммарным обжатием до 60 %.



Наибольшее распространение получили четырехклетевые станы более высокой производительности. Они предназначены для прокатки углеродистых и легированных сталей толщиной от 0,35 до 2,7 мм (жести до 0,2—0,25 мм) из подката толщиной от 4,75 до 8 мм с суммарным обжатием до 70—80 %. Непрерывный стан 2500 предназначен для прокатки полосы толщиной 0,6—2,5 и шириной 1050—2350 мм в рулонах массой до 25 т со скоростью прокатки до 21 м/с. Другие станы производят листовую сталь в рулонах до 30 т с максимальной скоростью прокатки до 25 м/с.

Пятиклетевые непрерывные станы холодной прокатки листов используются для прокатки тонких полос универсального сортамента и жести. В состав непрерывного пятиклетевого стана 1700 входит следующее оборудование: подающий конвейер; передаточная тележка; отгибатель переднего конца с прижимным роликом; разматыватель; правильно-тянущая машина; пять рабочих четырехвалковых клеток жесткой конструкции; моталка; сниматель рулонов; цепные транспортеры; передаточная тележка; весы и оборудование для обвязки и кантовки рулонов.

Дальнейшее развитие станов холодной прокатки выразилось в создании станов бесконечной прокатки. Основным отличием механического оборудования непрерывного пятиклетевого стана 2030 бесконечной и порулонной прокатки (рис. 159) является наличие стыкосварочной машины и петленакопителя с натяжными тележками, расположенными перед рабочими клетями. Кроме того, на входе стана установлены два разматывателя для бесконечной и один разматыватель для порулонной прокатки. Пять рабочих клеток с диаметрами валков 615 и 1600 мм (рабочих и опорных) и длиной бочки 2030 мм имеют индивидуальные приводы валков. В хвостовую часть стана входят летучие ножницы и моталки. Стан предназначен для прокатки рулонной стали толщиной от 0,35 до 3,5 мм из горячекатаного подката толщиной от 1,8 до 6 мм со скоростью до 32 м/с в последней клетке. Суммарная мощность главных двигателей стана составляет 48500 кВт. Цех холодной прокатки с пятиклетевым станом 2030 бесконечной и порулонной прокатки имеет отделения подготовки исходного металла, прокатки, термообработки, отделки продукции без покрытий и производства листовой стали с покрытиями (рис. 160):

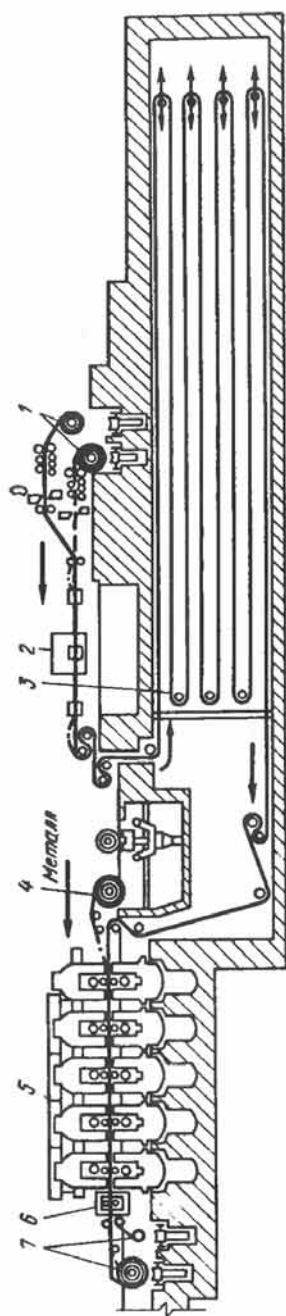


Рис. 159. Схема пятиклетового стана 2030 бесконечной и порулочной прокатки: 1 — размотчик для бесконечной прокатки; 2 — стыковочная машина; 3 — петлеобразующая машина; 4 — размотчик для порулочной прокатки; 5 — четырехвалковые рабочие вала; 6 — летучие ножницы; 7 — металл

Высокая производительность на стане холодной прокатки и высокое качество металла достигаются при использовании шестиклетевых непрерывных станов. Одним из современных станов этого типа является шестиклетевый стан 1400 бесконечной прокатки (рис. 161). В состав стана входят два размотчика, электростыковочная машина, натяжные и направляющие ролики, петлеобразующее устройство с подающими роликами, размотчик, гильотинные ножницы и проводковый стол. Собственно прокатный стан включает шесть четырехвалковых рабочих клеток с диаметрами рабочих и опорных валков 600 и 1400 мм соответственно и длиной их бочки 1400 мм. В хвостовой части стан оснащен натяжными роликами, летучими ножницами, моталками, измерителем толщины полосы и др. Стан предназначен для получения листовой стали толщиной от 0,1 до 0,6 мм из подката толщиной от 1,5 до 3,5 мм в рулонах массой до 45 т со скоростями прокатки в последней клетке достигающими до 33 м/с. На рис. 162 показана схема расположения оборудования цеха жести с шестиклетевым станом 1400 бесконечной прокатки. Цех оснащен оборудованием, которое предназначено для производства луженой (белой), хромированной, алюминированной и полированной без покрытия (черной) жести, а также холоднокатаных листов и рулонов из конструкционной, декапированной и кровельной стали. В состав цеха входят: колпаковые печи отжига рулонов; стенды для охлаждения отожженных рулонов; двухклетевой дрессировочный стан; двухклетевой прокатно-дрессировочный стан для прокатки жести толщиной менее 0,18 мм; агрегаты электролитической очистки полос, тончайшей жести и непрерывного отжига полос, подготовки рулонов; шестиклетевый стан 1400 бесконечной прокатки; агрегаты упаковки рулонов, пачек жести, сортировки; агрегаты алюминирования, хромирования, лужения; ножницы; весы и другое оборудование.

Современные реверсивные станы отличаются большим разнообразием конструкций и обеспечивают получение широкого ассортимента прокатной продукции при относительно небольшом объеме производства (от 50 до 100 тыс. т в год).

Рабочие клетки реверсивных станов подразделяют на четырехвалковые и многовалковые.

На современных реверсивных станах диаметры рабочих валков находятся в диапазоне 400–600, а опорных —

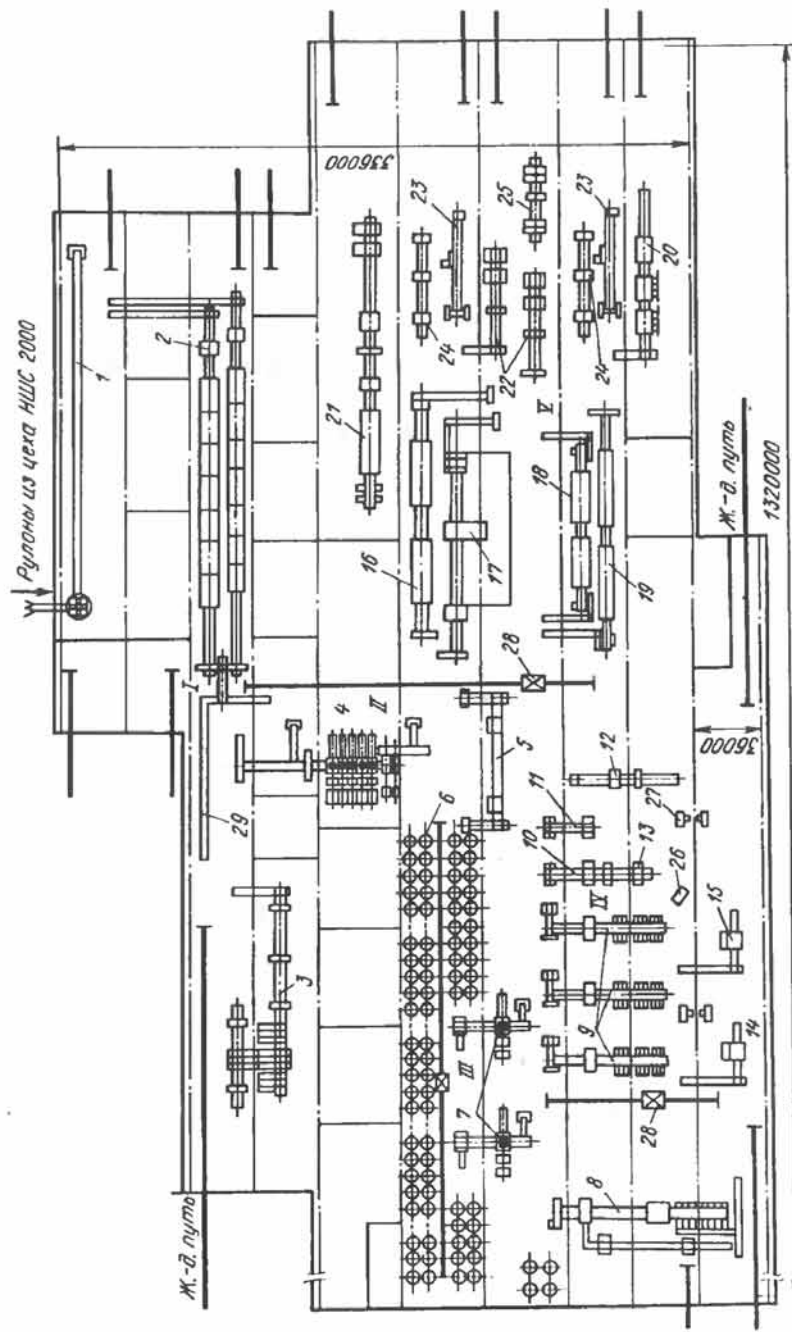


Рис. 160. Схема цеха холодной прокатки с пятиклетевым станом 2030:

I — отделение подготовки исходного металла; II — отделение прокатки; III — отделение термобработки; IV — отделение отделки продукции без покрытий; V — отделение производства листовой стали с покрытиями:
 1 — конвейер горячекатаных рулонов; 2 — непрерывные травильные агрегаты; 3 — комбинированный агрегат резки горячекатаной полосы; 4 — непрерывный пятиклетевый стан; 5 — агрегат электролитической очистки; 6 — колпаковые отжигательные печи; 7 — дрессировочный стан; 8 — комбинированный агрегат резки; 9 — агрегат поперечной резки; 10, 11 — агрегаты продольной резки; 12, 13 — агрегаты упаковки рулонов; 14, 15 — агрегаты упаковки листов; 16 — агрегат непрерывного отжига; 17 — агрегат горячего цинкования; 18 — агрегат электролитического цинкования; 19 — агрегат полимерного покрытия; 20 — профилигибочный агрегат; 21 — агрегат свинцового покрытия; 22 — агрегат продольной резки; 23 — ролик; 24 — агрегат упаковки рулонов; 25 — агрегат упаковки листов; 26 — ножницы; 27 — весы; 28 — передаточные тележки; 29 — конвейер

1300–1600 мм, длина бочки равна 1200–2000 мм. Максимальная скорость прокатки находится в пределах от 10 до 20 м/с при массе рулонов до 30–45 т.

Одноклетевые реверсивные четырехвалковые станы по конструкции аналогичны непрерывным. Прокатка на этих станах осуществляется в несколько реверсивных проходов, в связи с этим на выходной стороне стана устанавливают моталку, а на входной — кроме разматывателя — еще и вторую моталку (рис. 157, б).

Для производства тонкой (до 0,1 мм) и узкой полосы до 500 мм применяют также реверсивные четырехвалковые станы с уменьшенным диаметром рабочих валков (80–100 мм). Так как такие валки сделать приводными трудно, то их привод осуществляют через опорные валки.

В связи с большим спросом на тонкую (толщиной 0,1–0,5 мм) и тончайшую (до 0,1 мк) полосу (ленту и фольгу) из углеродистых и легированных марок стали широкое распространение получили многовалковые реверсивные станы.

Основными преимуществами многовалковых станов по сравнению с четырехвалковыми являются снижение усилия прокатки, а следовательно, и сил, действующих на все детали стана в связи с уменьшением диаметра рабочих валков; повышенная жесткость валкового узла, осуществляемая за счет многовалковой системы; значительно меньшие размеры стана, что снижает капитальные затраты на строительство, размеры производственной площади и др.

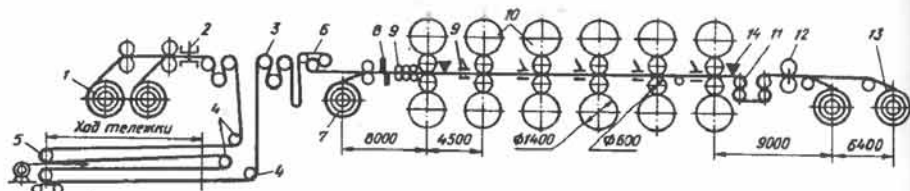


Рис. 161. Схема шестиклетьевого стана 1400 бесконечной и порулонной прокатки жести:

1 — разматыватели; 2 — электростыкосварочная машина; 3 — натяжные ролики; 4 — направляющие ролики; 5 — петлевое устройство; 6 — подающие ролики; 7 — разматыватель; 8 — гильотинные ножницы; 9 — проводковый стол; 10 — рабочие клетки; 11 — натяжные ролики; 12 — летучие ножницы; 13 — моталки; 14 — измеритель толщины полосы

Одним из основных недостатков является особое требование к точности деталей и установке рабочих валков.

Наиболее распространены двенадцативалковые и двадцативалковые станы (рис. 163).

Диаметры рабочих валков значительно различаются у различных стансов. У большинства стансов он лежит в диапазоне от 20 до 90 мм, при отношении длины бочки к диаметру в пределах от 10 до 30. Но имеются также станы, диаметры валков у которых или меньше (до 1,5–6 мм), или больше (до 120–150 мм). Максимальные скорости прокатки на многовалковых стансах находятся в диапазоне от 0,8 до 17 м/с.

Характеристики некоторых многовалковых стансов приведены в табл. 10.

Примером современного многовалкового стана может служить *двадцативалковый стан*. Два рабочих неприводных валка диаметром 55 мм стана изготовлены из высокопрочной хромовольфрамовой стали. На стана имеются также четыре промежуточных опорных неприводных валка диаметром 100 мм, шесть промежуточных валков диаметром 175 мм, из которых два нижних и два верхних являются приводными, восемь опорных осей, смонтированных на прецизионных роликовых подшипниках диаметром 300 мм и шириной 200 мм. Длина бочек валков 1200 мм. Четыре приводных промежуточных валка приводятся от двух электродвигателей мощностью 1050 кВт через редуктор — шестеренную клетку. Также в состав стана входят приемный стол, моталки, разматыватель, подающий транспортер, правильная машина с тянущими роликами, отводящий транспортер и сниматель рулонов.

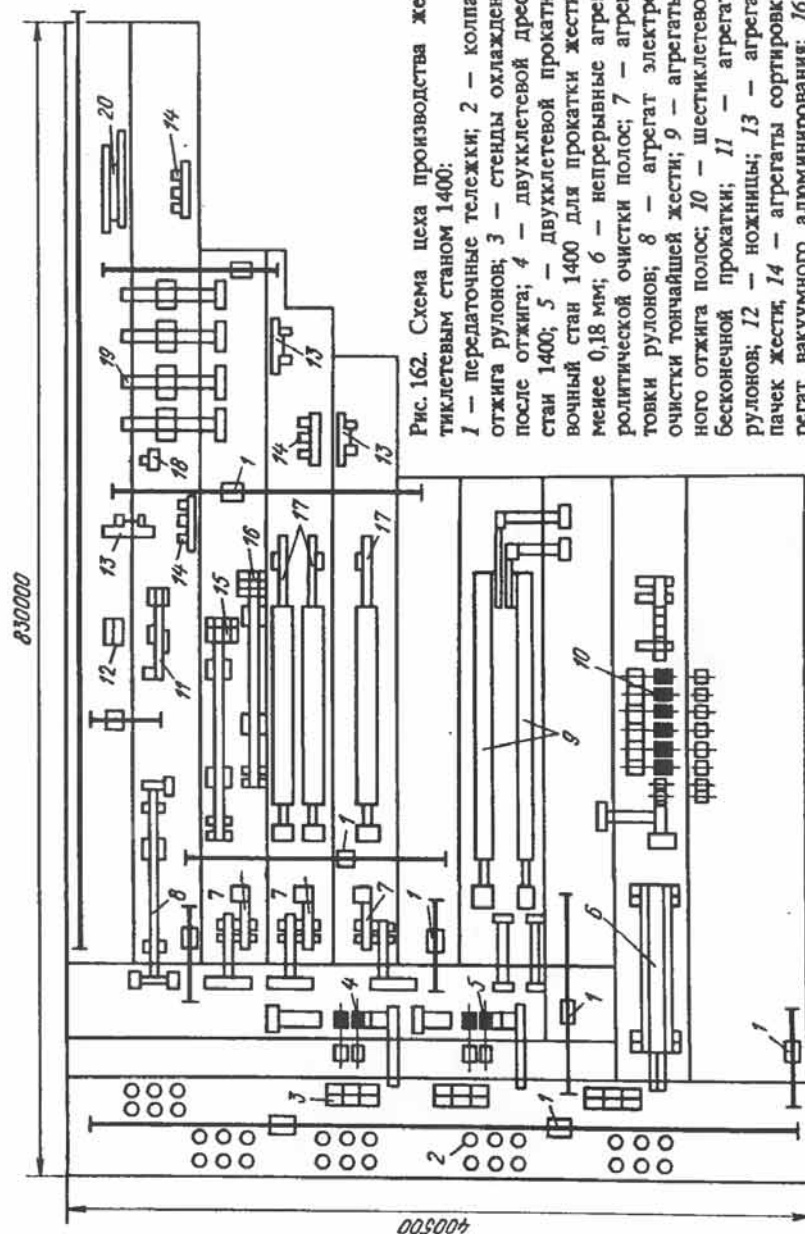


Рис. 162. Схема цеха производства жести с шестиклетьевым станом 1400:

1 — передаточные тележки; 2 — колаковые печи отжига рулонов; 3 — стелды охлаждения рулонов после отжига; 4 — двухклетевой прессировочный стан 1400; 5 — двухклетевой прокатно-дрессировочный стан 1400 для прокатки жести толщиной менее 0,18 мм; 6 — непрерывные агрегаты электролитической очистки полос; 7 — агрегаты подготовки рулонов; 8 — агрегат электролитической очистки тончайшей жести; 9 — агрегаты непрерывного отжига полос; 10 — шестиклетьевый стан 1400 бесконечной прокатки; 11 — агрегат упаковки рулонов; 12 — ножницы; 13 — агрегат упаковки пачек жести; 14 — агрегаты сортировки; 15 — агрегат вакуумного алюминирования; 16 — агрегат электролитического лужения; 17 — непрерывные агрегаты электролитического лужения; 18 — агрегаты поперечной резки; 19 — агрегаты упаковки пачек жести и листов

Для полистного способа прокатки, вызванного необходимостью производства листов из малопластичных легированных

Таблица 10. Характеристики некоторых многовалковых станов

Параметр	ЦКБММ-90	ЦКБММ-34	ЦКБММ-66
Диаметр валков, мм:			
рабочего	3	7—12	20
опорных	7—12—20	18—25—50	40—70—120
Толщина полосы, мм:			
исходная	0,03	0,08—0,15	0,5—0,6
конечная	0,002	0,004	0,02
Ширина полосы, мм. . . .	40	65—130	150—300
Скорость прокатки, м/с . .	0,375	2,5	3,75—7,5
Мощность привода клетей и моталок, кВт	2	65	1210

Параметр	700	1200	1700
Диаметр валков, мм:			
рабочего	30	55	85
опорных	60—106—180	100—170—300	150—240—400
Толщина полосы, мм:			
исходная	1,0	2,0—3,0	4,0—5,0
конечная	0,02	0,075	0,1
Ширина полосы, мм. . . .	400—600	70—1000	90—1500
Скорость прокатки, м/с . .	7,5	10	4—8
Мощность привода клетей и моталок, кВт	2400	100000	128000

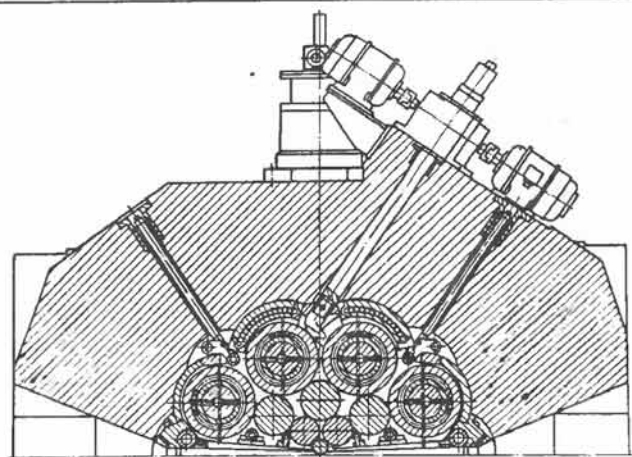


Рис. 163. Разрез рабочей клетки двадцативалкового стана

марок сталей и широких листов толщиной от 1 до 2,5 мм применяют в основном нереверсивные станы, имеющие двухвалковые или четырехвалковые клетки. Эти станы обладают относительно невысокой производительностью от 10 до 60 кг металла в год.

С целью улучшения свойств металла прокатываемой полосы и качества ее поверхности, а также осуществления правки металла при производстве холоднокатаного листа производят его дрессировку, заключающуюся в прокатке с малыми отжатами.

Для дрессировки полос применяют одноклетевые и двухклетевые станы с двухвалковыми и четырехвалковыми клетями.

Одноклетевые четырехвалковые станы используют для дрессировки качественной стали с целью получения хорошей поверхности и исправления коробоватости и волнистости полос.

Двухклетевые станы бывают с двумя четырехвалковыми клетями и с сочетанием двухвалковой и четырехвалковой клетей. Первые используют для дрессировки жести и листов шириной до 1850 мм, а вторые только для дрессировки жести.

Современные дрессировочные станы с длиной бочки валков 1200—2500 мм могут прокатывать рулоны массой до 35—45 т со скоростью до 25—30 м/с.

Схемы расположения некоторых полосовых дрессировочных станов, работающих на наших заводах, приведены на рис. 164. В их состав входят разматыватели рулонов; малые тянущие ролики; изгибатель полос; тянущие валки; одна или две правильные машины; рабочая клеть и на некоторых станах роликотное натяжное устройство. Рабочие клетки и вспомогательное оборудование дрессировочных станов в большинстве случаев аналогичны по конструкции непрерывным или реверсивным станам.

К валкам станов холодной прокатки предъявляются особые требования. Наряду с достаточной прочностью валки должны иметь высокую твердость, которая бы обеспечила получение листовой стали с чистой и гладкой поверхностью. Валки для производства холоднокатаных листов и жести часто перешлифовывают. Практически допускается уменьшение диаметра валков станов холодной прокатки на 3—5 %.

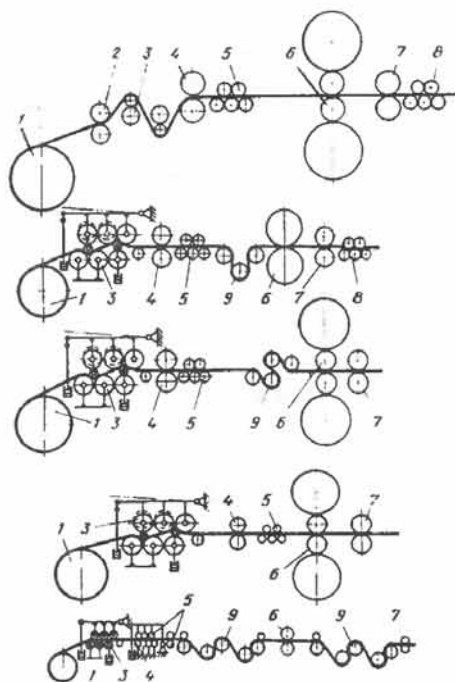


Рис. 164. Схемы некоторых отечественных дрессировочных станков:
1 — разматыватель рулонов; 2 — малые тянущие ролики; 3 — изгибатель полос;
4, 7 — тянущие ролики; 5, 8 — правильные машины; 6 — рабочая клеть; 9 —
роликотное натяжное устройство

Рабочие валки изготавливают из сталей 9Х, 9ХФ, 9Х2, 9Х2МФ, а кованые опорные валки — из хромистой стали 9Х с твердостью бочек соответственно HSD 95–102 (после закалки) и HSD 65–85. Для улучшения условий захвата в первой клетки и предотвращения сваривания витков рулона при отжиге рабочие валки клеток непрерывного стана засекают чугунной или стальной дробью.

2. Технология прокатки холоднокатаных листов

Типовая схема технологии производства холоднокатаной листовой стали состоит из следующих групп технологических операций:

подготовки исходного металла к прокатке, включающей удаление окалины и дефектов с поверхности и смягчающую термическую обработку исходного материала (подката);

холодной прокатки;

отделки холоднокатаной стали, включающей термическую обработку и травление холоднокатаного металла, дрессировку, правку, поперечную и продольную резку, очистку и зачистку поверхности металла, сортировку и упаковку готовой продукции или полуфабрикатов.

Некоторые из этих операций могут исключаться: например, термическая обработка горячекатаного металла, очистка поверхности холоднокатаного металла, операция травления при применении термообработки в защитной атмосфере; а операции холодной прокатки, термообработки и травления холоднокатаного металла могут повторяться. В ряде случаев могут добавляться новые операции, связанные с особыми требованиями, вытекающими из государственных стандартов, технических условий или договоров с заказчиками. К последним можно отнести, например, технологические операции, связанные с получением зеркального листа из коррозионностойких сталей, комплекс операций по нанесению определенного вида покрытий и др. Операция порезки металла (при рулонном способе производства) в старых цехах предшествует другим отделочным операциям, а в цехах современной технологии, где установлены высокоскоростные непрерывные отделочные агрегаты, она завершает технологический цикл.

Исходным металлом для холодной прокатки является прокат (полоса, листы), полученный на станах горячей прокатки, который называется подкатом. Обязательной операцией в технологии производства холоднокатаных листов является подготовка исходного металла к прокатке. Так как поверхность горячекатаных листов (подката) покрыта окалиной, возникает необходимость ее удаления для получения высококачественной поверхности холоднокатаных листов. Успешное удаление окалины зависит от ее физико-химического состава, толщины и от условий, в которых протекает процесс очистки окалины с поверхности горячекатаных листов.

Существуют кислотный и механический способы удаления окалины.

Травление горячекатаных углеродистых и многих легированных сталей производится в растворах серной или соляной кислот. Процесс травления стальной полосы основан на взаимодействии кислоты с оксидами (см. рис. 35).

Наиболее быстро растворяется в кислотном растворе FeO (вюстит), значительно труднее Fe_3O_4 (магнетит) и Fe_2O_3 (гематит). Чем скорее будут разрушены Fe_3O_4 и Fe_2O_3 , тем быстрее кислота проникает к более растворимому слою FeO . При травлении освобождение металла от окалины происходит также в результате выделения водорода, который, скапливаясь под слоем окалины, отрывает ее от металла.

В настоящее время применяют два способа работы травильных ванн. При первом способе каждая травильная ванна работает самостоятельно. По мере выработки травильного раствора его заменяют. При втором способе — непрерывном каскадном травлении — непрерывно обновляемые кислотные растворы в травильных ваннах и полоса движутся навстречу.

В последние годы широкое распространение получает травление полосы в растворе соляной кислоты. Преимущества такого травления заключаются в лучшем качестве поверхности после травления, уменьшении потерь металла при травлении, снижении стоимости травления (соляная кислота дешевле серной), повышении интенсивности растворения окалины в 1,5–2 раза и, следовательно, производительности агрегатов травления в 1,5–2 раза. Также при травлении в соляной кислоте более редки перетравы и более длительное сохранение травильного раствора. Травление в современных цехах холодной прокатки осуществляется в непрерывных травильных агрегатах (рис. 165).

Горячекатаные рулоны со склада при помощи крана устанавливают на конвейер, который подает их к кантователю. После кантовки очередной рулон укладывается на подъемный стол двухпозиционного разматывателя. Передний конец рулона отгибается и поступает в окалиноломатель и в тянущие ролики. Окалиноломатель осуществляет грубую ломку окалины вследствие двойного изгиба полосы вокруг роликов небольшого диаметра. Часть окалины удаляется, а в окалине, оставшейся на полосе, образуются мелкие трещины, в которые легко проникает травильный раствор. Далее полоса обрабатывается на правильной машине и поступает к гильотинным ножницам, где производится обрезка ее концов. Задний конец полосы предыдущего рулона в стыкосварочной машине сваривается с передним концом полосы последующего рулона. Зачистка сварных швов осуществляется ножами гратоснимателя, установленного за сварочной машиной. Для соединения

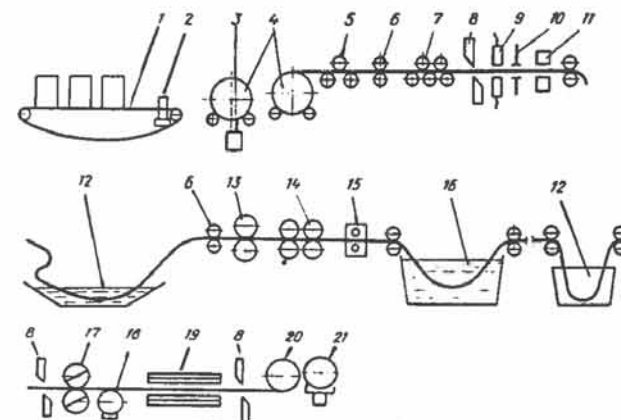


Рис. 165. Схема непрерывного травильного агрегата:

1 — конвейер; 2 — кантователь; 3 — подъемный стол; 4 — двухпозиционный разматыватель; 5 — окалиноломатель; 6 — тянущие ролики; 7 — правильная машина; 8 — гильотинные ножницы; 9 — стыкосварочная машина; 10 — гратосниматель; 11 — сшивная машина; 12 — петлевая яма; 13 — дрессировочная клеть; 14 — натяжное устройство; 15 — индукционная установка; 16 — травильная ванна; 17 — дисковые ножницы; 18 — кромкосшиватель; 19 — промасливающее устройство; 20 — моталка; 21 — конвейер

полос из плохо свариваемых сталей устанавливается сшивная машина. Чтобы не останавливать полосу в травильных ваннах, перед ними делают петлевую яму, в которой создается необходимый запас полосы, обеспечивающий непрерывную работу этих ванн.

Далее полоса промывается струями горячей воды под давлением 1–1,2 МПа и тянущими роликами подается в дрессировочную клеть и в натяжное устройство. В дрессировочной клетке при обжати в 3–8% осуществляется дополнительное разрушение окалины, кроме того, повышаются точность размеров и форма полосы. Перед поступлением в травильную ванну полоса подогревается в индукционной установке. Обычно в состав травильных агрегатов входят 3–4 травильные ванны. После промывки полоса проходит сушильное устройство, где сушится горячим воздухом и подается в петлевую яму. Из последней полоса роликами подается к гильотинным ножницам для вырезки мест сшивки и разрезки полосы. Боковые кромки полосы обрезаются дисковыми ножницами и разрезаются на мелкие куски кромкокрошителем. В промас-

ливающем устройстве на полосу наносится тонкий слой масла для предотвращения коррозии металла при хранении на складе перед станом холодной прокатки. В моталке полоса сворачивается в рулоны требуемой массы (15 т и более), после чего разрезается ножницами. Рулон сталкивается на конвейер и поступает на склад стана холодной прокатки.

Скорость непрерывного движения полосы через травильные ванны 3–5, на входе до 12, на выходе до 7 м/с. Травильные ванны, обложенные внутри кислотоупорным кирпичом, строятся длиной 25–30 м каждая. Общая длина агрегата достигает 300–350 м.

К механическому способу относят дробеструйную и дробеметную обработку, изгибание полосы вокруг роликов и дрессировку.

Сущность дробеструйной и дробеметной (имеющей преимущественное распространение) очистки состоит в обработке поверхности металла стальной или чугунной дробью размером 0,06–0,3 мм, подаваемой на металл с большой скоростью. При этом окалина удаляется, а поверхность становится шероховатой и получает некоторый наклеп. При изгибании полосы вокруг роликов диаметром 60–90 мм и прокатке с 2–3 %-ным обжатием (дрессировка) окалина растрескивается и частично удаляется, причем во втором случае степень разрушения и удаления значительно выше.

К этому же способу можно отнести и абразивную зачистку поверхности, которая будет рассмотрена далее.

Однако механическая зачистка не обеспечивает достаточно высокую степень очистки и чистоту поверхности, и поэтому ее применяют, главным образом, в сочетании с другими способами, наиболее распространенными в листопрокатных цехах.

Задачами холодной прокатки является получение листовой стали определенных геометрических размеров и качества ее поверхности и обеспечение необходимого уровня различных физико-механических свойств листового металла.

Процесс холодной пластической деформации сопровождается наклепом, который приводит к значительным изменениям физико-механических и структурных свойств металла. Режимы деформирования на станах холодной прокатки зависят от

многих факторов, например, от марки стали, типа технологической смазки, условия охлаждения валков и др. При назначении режимов деформирования наиболее часто исходят из условий равномерного распределения усилий прокатки или нагрузок на двигатели по клетям непрерывного стана или по проходам на одноклетевом стане. Диапазон единичных относительных обжатий лежит в пределах 4–45 %, а в некоторых случаях, при прокатке мягких сталей, они могут повышаться до 50%, при прокатке же высокопрочных сталей — понижаться до 2%.

На действующих непрерывных станах холодной прокатки применяются следующие *режимы деформирования*:

- с уменьшением относительных обжатий от первой клетки к последней;

- с близкими обжатиями во всех клетях;

- с малыми обжатиями в крайних клетях и большими в средних;

- с большими обжатиями в крайних клетях и малыми в средних;

- с увеличением обжатий от первой до предпоследней клетки.

На станах холодной прокатки целесообразно применение относительно малых обжатий в первой клетки как с точки зрения лучшего исправления разнотолщинности, так и во избежание больших ударных нагрузок при изменении механических свойств и размеров подката (например, при прохождении сварных швов). Величина рекомендуемых относительных обжатий в первой клетки находится в пределах 20–35 %. Исключение составляет прокатка некоторых легированных сталей, в частности трансформаторных, когда обжатие в первой клетки достигает 40 %, чтобы за счет интенсивной деформации произвести разогрев полосы, что облегчает деформацию в последующих клетях.

Эта же цель преследуется и при применении повышенных обжатий в предпоследней клетки.

Важное значение при назначении режимов деформирования имеет величина обжатия в последней клетки, обеспечивающая высокое качество листопрокатной продукции. Диапазон обжатия в последней клетки также зависит от ряда факторов и лежит в очень широких пределах от 5 до 40 %. При прокатке

жести этот диапазон оптимальных обжатий сужается до 25–35 %.

Анализ режимов обжатий показывает, что относительно равномерные режимы обжатий чаще всего применяются на четырех-, пяти и шестиклетевых станах, особенно при прокатке жести. Понижающие режимы характерны для прокатки полос на трех-, четырех- и пятиклетевых станах.

Большое влияние на величину обжатий, собственно процесс деформирования и выравнивающую способность стана оказывает *натяжение*. Оно создается перед первой клетью с помощью разматывателя или пресс-проводки (иногда совместно) между клетями в период установившегося процесса с помощью соответствующего скоростного режима клетей и величины поджатия нажимных винтов, а в период прохождения концов — межклетевыми пресс-проводками, за последней клетью — посредством моталки стана. Натяжение позволяет значительно интенсифицировать режимы обжатий, повысить выравнивающую способность стана, стабилизировать процесс и улучшить качество проката.

Весьма важное значение в процессе прокатки имеет *скоростной режим стана*.

После заправки полосы в первую клеть прокатка ведется на постоянной заправочной скорости до тех пор, пока передней конец полосы не пройдет все клетки и на моталке не образуется 2–3 витка полосы. Затем скорость повышается до рабочей, и рулон прокатывается с постоянной рабочей скоростью. Перед сварным швом скорость прокатки замедляется до скорости прокатки сварного шва. Затем следует разгон стана до рабочей скорости, и дальше все повторяется. При подходе заднего конца происходит замедление стана, при этом скорость прокатки уменьшается с рабочей до заправочной, после чего задний конец прокатывается с постоянной заправочной скоростью. После паузы начинается прокатка следующего рулона.

Прокатка сварных швов на замедленной скорости объясняется нестабильностью механических свойств швов и изменением толщины. Если при прохождении сварных швов между валками скорость прокатки не снижать, то это ведет к сильным ударам и может произойти разрыв полосы.

Прокатка на непрерывных станах является весьма производительным и экономически целесообразным процессом, но

все же в настоящее время основная масса легированного металла прокатывается на одноклетевых станах.

Наибольшее распространение в настоящее время имеют реверсивные четырехвалковые станы. Суммарные обжатия на них несколько ниже, чем на непрерывных станах, и также зависят от характеристик стана и прокатываемого металла. Диапазон суммарных относительных обжатий находится в пределах 40–80 %. Среднее обжатие за проход 8–14 %, причем меньшие величины относятся к прокатке высокоуглеродистых и высокохромистых легированных сталей. Это приводит к тому, что вышеуказанные суммарные обжатия осуществляются за 5–9 проходов, включая более низкие обжатия в последнем и первом проходах.

Величина натяжения на реверсивных четырехвалковых станах обычно несколько выше, чем на непрерывных станах, и находится в пределах $0,3–0,5\sigma_T$ прокатываемого металла.

Преимущества многовалковых станов в отношении создания условий деформирования, позволяющие реализовать резервы пластичности стали, нашли свое отражение при осуществлении процесса холодной прокатки. Если характер режимов деформирования на этих станах подобен режимам, применяемым на реверсивных четырехвалковых станах, то величины суммарных и частных деформаций имеют большие значения. Обжатия по проходам на многовалковых станах при прокатке легированных сталей составляют в большинстве случаев 15–25 %. В то же время при прокатке малоуглеродистых сталей единичные обжатия могут достигать 50 %.

Благодаря специальной конструкции моталок, большой мощности их привода, а также вследствие использования подката с обрезанными кромками при прокатке на многовалковых станах имеется возможность повысить величину натяжения по сравнению с четырехвалковыми станами. Имеются данные о доведении удельных натяжений до величин $0,6–0,7\sigma_T$ прокатываемого металла, но наибольшее распространение имеют удельные натяжения $0,3–0,5\sigma_T$, причем заднее натяжение наиболее эффективно и его величина всегда больше переднего.

Скоростной режим прокатки на реверсивных станах значительно отличается от такового на непрерывных станах. В основном это вызвано периодами торможения и разгона стана

при производстве реверса для осуществления следующего прохода, которые вызывают появление утолщенных частей рулона добавочно к непрокатываемым концам, закрепленным на моталках. Доля утолщенных частей полосы при прокатке на реверсивных станах больше, чем на непрерывных, так как динамические характеристики приводов их весьма близки. Чтобы избежать некачественного проката из легированного металла, иногда к концам легированной полосы приваривают куски углеродистой стали.

Разработка режимов обжатий на нереверсивных станах подчиняется общим закономерностям, исходящим из явлений упрочнения металла при холодной деформации.

Величина абсолютных единичных обжатий при прокатке на этих станах находится в пределах 0,1–0,4 мм, причем срединные проходы разбивают иногда на группы с одинаковым абсолютным обжатием, что, конечно, вызывает увеличение относительных обжатий в пределах групп, но удобно для операторов стана. Величина относительных обжатий, зависящая от толщины исходного проката, располагается в диапазоне 5–10 %, хотя может и достигать 12–15 % для низколегируемых и углеродистых марок стали, а также в случае сравнительно узких листов.

Суммарные обжатия за передел (без термообработки) на этих станах в значительной степени зависят от конкретного стана и сортамента прокатываемой продукции.

Процесс многократного обжатия полосы на станах холодной прокатки листов приводит к значительному их разогреву и к необходимости *принудительного* охлаждения валков и полосы. *Обычно охлаждающая среда является и технологической смазкой.* К технологическим смазкам предъявляются следующие требования: обеспечение требуемых и стабильных условий трения между валками и прокатываемой полосой; охлаждение прокатываемого металла и валков; исключение вредного химического воздействия на прокатываемый металл и обслуживающий персонал; возможность получения проката с чистой поверхностью определенной шероховатости; возможность применения несложных систем подачи смазок в очаг деформации и др.

В качестве технологических смазок для холодной прокатки используются минеральные и растительные масла, живот-

ные жиры и синтетические вещества в чистом виде или в виде эмульсий. *Минеральные масла*, получаемые в результате переработки нефти, обладают стабильными технологическими свойствами, низкими температурами застывания, почти не образуют пятен при термообработке без обезжиривания и являются наиболее дешевыми продуктами.

Часто в минеральные масла вводят органические присадки, улучшающие их смазочные характеристики и придающие им антикоррозионные и антипенные свойства.

Растительные масла и животные жиры обладают лучшими смазочными свойствами, высокой температурой вспышки, что создает возможность их применения при высоких скоростях прокатки. Однако они менее стабильны, создают на поверхности металла значительный сажистый остаток при термообработке без предварительного обезжиривания, значительно дороже, чем минеральные масла.

Наиболее широко используются следующие растительные масла: пальмовое, подсолнечное, саломас (гидрогенизированные растительные), хлопковое, ПХМ (гидрогенизированное хлопковое), касторовое, кориандровое и др.

Все шире применяются в качестве технологических смазок *синтетические вещества*, представляющие собой простые и сложные эфиры, полученные на базе синтетических жирных кислот и спиртов, т.е. синтетические жиры. Существенным недостатком многих применяемых в настоящее время синтетических смазок является наличие раздражающего специфического запаха вследствие содержания большого количества ароматических веществ.

Все вышеуказанные вещества используют или в чистом виде, или в виде смесей (минеральное — минеральное различной вязкости; минеральное — растительное; минеральное — синтетическое вещество), или в эмульсиях типа масло в воде (1–2 %-ная концентрация на жировой и 2–8 %-ная на минеральной основах) и механических дисперсиях (концентрация масла 5–30 %). При применении эмульсий увеличивается охлаждающая способность смазки, что в сочетании с хорошей смазочной способностью предопределило их широкое распространение.

В зависимости от конструкций оборудования и требуемых способов нанесения, а также сортамента проката применя-

ются системы нанесения технологических смазок циркуляционные или прямого действия.

Циркуляционные системы используются в большинстве случаев при холодной прокатке листовой стали на многоклетевых, реверсивных и станах полистной прокатки. Их особенностью является многократное употребление технологической смазки, выполняющей функции смазки и охлаждения.

На рис. 166, а приведена схема циркуляционной эмульсионной установки, состоящая из двух систем, обеспечивающих первую клетку и три последующие. В ней отработанная эмульсия с рабочей клетки попадает в сборники эмульсий, а затем проходит через магнитные сепараторы и баки-отстойники. Насосами, создающими давление 0,094 и 0,067 МПа, эмульсия прокачивается через фильтры, холодильники и поступает в коллекторы рабочих клеток. Производительность одной системы 20 тыс.л/мин, а второй 9 тыс.л/мин.

Системы прямого действия применяются на многоклетевых станах при прокатке жести. В них осуществляется однократное использование технологической смазки, наносимой на валки и полосу или в чистом виде, или в виде механической смеси с водой. Валки охлаждаются водой из отдельной системы, циркуляционной или с однократным использованием.

Устройство для нанесения смазки в чистом виде, работающее на жестепрокатных станах, показано на рис. 166, б. В его состав входят бак для смазки, трубопроводы низкого давления; электродвигатель; плунжерный насос высокого давления с подкачивающей помпой, фильтрами грубой и тонкой очистки, четырьмя насосными элементами с плунжерами подачи смазки и регуляторами расхода смазки; трубопроводы высокого давления и форсунки высокого давления. Количество смазки, подаваемой в единицу времени к форсункам, может регулироваться в широких пределах изменением частоты вращения двигателя, а также с помощью специального регулятора. Давление масла, выбрасываемого из форсунки, составляет 1,2–1,8 МПа. Над валком на расстоянии 200–220 мм устанавливают 1–3 форсунки.

Заключительным технологическим этапом производства холоднокатаных листов является их *отделка*. После холодной прокатки на поверхности металла остаются масляные остатки, смешанные с частицами металлической пыли и окалины. Все это значительно ухудшает качество поверхности метал-

ла. В цехах холодной прокатки для очистки поверхности металла применяют различные способы, включающие механическое удаление загрязнений, к которым относятся смыв водой, сдув сжатым воздухом, обработка поверхности листов щетками, а также химический, электрохимический, ультразвуковой и электролитический методы очистки и применение моющих смазок.

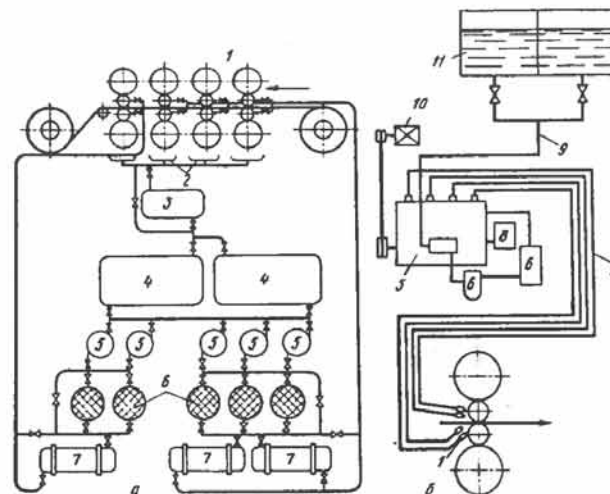


Рис. 166. Схема установок циркуляционного (а) и прямого действия (б): 1 — рабочие клетки; 2 — сборники эмульсий; 3 — магнитные сепараторы; 4 — баки-отстойники; 5 — насосы; 6 — фильтры; 7 — холодильник; 8 — регулятор расхода смазки; 9 — трубопровод высокого давления; 10 — электродвигатель; 11 — бак для смазки

Для снятия упрочнения, получаемого металлом при холодной прокатке, восстановления пластических свойств или придания других специальных свойств проводится *термообработка* холоднокатаного металла. В зависимости от материала и требований к структуре и физико-механическим свойствам готового проката проводят отжиг, нормализацию, закалку, отпуск или обработку холодом.

Режимы отжига металла зависят от материала, степени деформации, требований к физико-механическим свойствам готового проката и типа нагревательных устройств. Этот вид термообработки обеспечивает снятие напряжений в металле и восстановление структуры равноосных зерен вследствие зарождения и роста новых неискаженных зерен за счет

зерен раздробленных и вытянутых холодной деформацией. Температура отжига углеродистых сталей находится в интервале 660–730, легированных — 600–850 °С.

Отжиг состоит из трех стадий: нагрева, выдержки и охлаждения металла. Общая продолжительность отжига зависит от марки стали, геометрических размеров проката, рулонной или листовой технологии, массы пачки или рулона и от типа нагревательных устройств.

Когда требуется повышение прочностных свойств металла применяют *нормализацию*, которая представляет собой термообработку, заключающуюся в нагреве его до температур на 30–50 °С выше температур отжига и последующем охлаждении. Характер структурных процессов при нормализации подобен тем, которые проходят при отжиге, но за счет большей скорости охлаждения новые зерна не успевают вырасти до больших размеров, образуется мелкозернистая структура с повышенным уровнем прочностных свойств.

Смягчающей термообработкой для высоконикелевых и высокомарганцевых сталей является *операция типа закалки*, заключающаяся в нагреве металла до 1050–1150 °С, минимальной выдержке при этой температуре и быстром охлаждении в воде, воздушной смеси или движущимся воздухом.

В некоторых случаях требуется поставка листовой стали с повышенным уровнем прочностных свойств и с хорошей пластичностью. Тогда ее подвергают операции *улучшение*, заключающейся в закалке (нагрев до 900–1000 °С и охлаждение водой) и высококом отпуске (500–700 °С, охлаждение на воздухе или распыленной водой). С такими свойствами часто поставляют низколегированные стали.

В структуре проката из хромистых и хромоникелевых сталей после холодной прокатки или термической обработки может присутствовать довольно значительное количество остаточного твердого раствора углерода в железе высокотемпературной модификации, имеющего гранецентрированную кубическую решетку, называемого аустенитом, сильно отличающегося по своим свойствам от основной структуры и могущего вызвать в дальнейшем самопроизвольное изменение размеров и формы изделий. В целях уменьшения, а в некоторых случаях и полного его устранения производят *обработку металла холодом* при –40...–100 °С в среде жидкой углекислоты,

жидких кислорода, азота или воздуха или в установках с испарением некоторых газов (пропана, фреона 13 и др.).

Большая часть холоднокатаного проката из низко- и среднеуглеродистых сталей после термообработки подвергается *дрессировке*.

Дрессировка является одной из важнейших операций технологического процесса производства холоднокатаных листов. Она проводится для упрочнения поверхности отожженного металла с целью улучшения его последующей штампуемости, а также для правки металла и получения гладкой блестящей поверхности.

Дрессировка заключается в прокатке металла (в основном без технологической смазки) с относительными обжатиями от 0,25 до 3,5 %, причем при дрессировке легированного металла они обычно не превышают 2 %. Она может осуществляться на двух- и одноклетевых станах с применением натяжения или без него; за один или несколько проходов. Полосовой металл в рулонах всегда дрессируют с натяжением, которое способствует эффективному устранению коробоватости и волнистости и снижает усилие дрессировки. Эти обстоятельства вызывают появление дрессировочных станов со специальными натяжными устройствами за и перед рабочими клетями. Натяжение при дрессировке рулонов не должно вызывать пластического растяжения полосы до дрессировки.

Уменьшение диаметра рабочих валков увеличивает эффект дрессировки и позволяет снизить обжатие. При дрессировке происходит изменение механических свойств, которое зависит от химического состава стали, механических свойств после отжига, толщины металла и степени обжатия при дрессировке. Повышаются временное сопротивление σ_b , предел текучести σ_t , твердость и понижается относительное удлинение δ . После дрессировки полосы режут, сортируют, упаковывают и в рулонах отгружают потребителю.

В современных цехах холодной прокатки для резки полос на листы устанавливают два–три агрегата поперечной резки, а для резки полос на ленты — один–два агрегата продольной резки.

На рис. 167 представлена схема агрегата поперечной резки, предназначенного для порезки полос из углеродистых

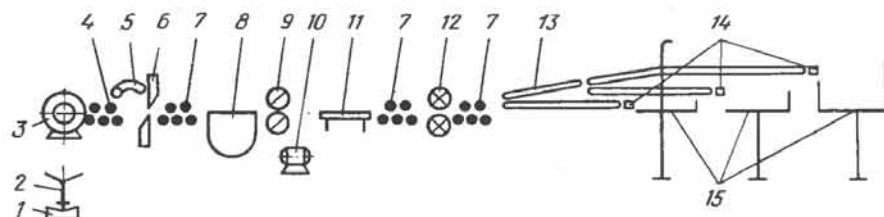


Рис. 167. Схема агрегата поперечной резки холоднокатаных полос:
1 — конвейер; 2 — подъемный стол; 3 — разматыватель; 4 — правильно-тянущая машина; 5 — отгибатель; 6 — гильотинные ножницы; 7 — правильные машины; 8 — петлевое устройство; 9 — дисковые ножницы; 10 — кромкомоталки; 11 — контрольный стол; 12 — летучие ножницы; 13 — пакетировщик; 14 — промасливающая машина; 15 — подъемные столы

сталей толщиной 0,6–2,0, шириной 700–1500 мм на листы длиной 1–6 м со скоростью 1,5–6 м/с.

Рулон краном устанавливается на конвейер и с помощью подъемного стола надевается на барабан разматывателя, затем разворачивается в положение, удобное для захвата конца полосы магнитным отгибателем и правильно-тянущей машиной. Конец полосы длиной 1,5–2 м обрезается гильотинными ножницами, проходит через правильную машину и подается по поднятому полотну петлевого устройства к дисковым ножницам. Обрезаемые боковые кромки направляются по желобу в подвальное помещение на приемный лоток кромкомоталки, где они сматываются в бунты и периодически убираются краном. Пройдя второе петлевое устройство, полоса задается в натяжные ролики контрольного стола, правится в правильной машине и разрезается на листы требуемой длины летучими ножницами. После правки в правильной машине листы пакетируются, состоящим из ленточных конвейеров (промасленные в машине), укладываются в пакеты на подъемные столы. По мере возрастания высоты пакетов подъемный стол опускается в нижнее положение, тележкой выкатывается в сторону от агрегата, пакеты взвешиваются и направляются на сортировку или упаковку.

Агрегат продольной резки (рис. 168) предназначен для резки полос толщиной 0,4–2,0, шириной 700–1500 мм на узкие ленты шириной до 80 мм со скоростью 1,5–7 м/с.

Рулон со стеллажа подается в разматыватель, откуда полоса задающим устройством после обрезки переднего конца гильотинными ножницами подается в промасливающее устройство. Вертикальные направляющие ролики задают полосу в

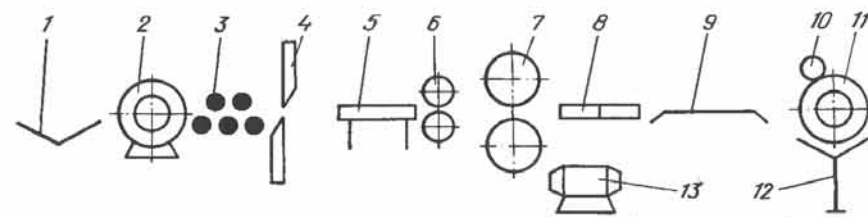


Рис. 168. Схема агрегата продольной резки холоднокатаных полос:
1 — стеллаж; 2 — разматыватель; 3 — задающее устройство; 4 — гильотинные ножницы; 5 — промасливающее устройство; 6 — направляющие ролики; 7 — дисковые ножницы; 8 — разделительно-задающая машина; 9 — направляющие; 10 — прижимной качающийся ролик; 11 — моталка; 12 — передвижной подъемный стол; 13 — кромкомоталка

многопарные дисковые ножницы, где производится резка на узкие ленты. При заправке агрегата тележка разделительно-задающей машины подъезжает к дисковым ножницам и схватывает концы лент, зажимая их между своими роликами, непосредственно при выходе лент из ножей ножниц. Затем при одновременном вращении ножей ножниц тележка по направляющим перемещается к моталке, перед которой специальным устройством ленты разводятся друг от друга и задаются в щель барабана. Формирование рулона ленты осуществляется на моталке с помощью прижимного качающегося ролика. Рулоны лент с помощью передвижного подъемного стола передаются на поворотный стол и дальше краном — на упаковку. При резке лент на ножницах одновременно производится обрезка боковых кромок, которые сматываются на кромкомоталке.

В цехах холодной прокатки, кроме рассмотренных агрегатов, в случае необходимости устанавливают агрегаты продольной резки узких лент шириной 20+30 мм и комбинированные агрегаты резки.

Особое значение среди отделочных операций придается правке холоднокатаного металла. Правка холоднокатаных листов осуществляется на роликоправильных и правильно-растяжных машинах. В главе, посвященной основному и вспомогательному оборудованию прокатных цехов, рассмотрены способы, машины и агрегаты для правки металла.

В целях защиты металла от повреждений в процессе транспортировки производят упаковку готового проката, тип которой зависит от вида проката и заказа, способа и продолжительности транспортировки и др.

Готовый холоднокатаный металл поставляется в пачках листов или в рулонах. Пачки листов обыкновенного качества (рядовые) обвязывают упаковочной (обручной) лентой толщиной 0,5–0,8 и шириной 18–50 мм, на которую навешивают бирку с основными данными отгружаемого металла. Для придания большей жесткости пачкам большой длины вместе с ними увязывают деревянные брусья в продольном и поперечном направлениях.

На некоторых заводах холоднокатаные листы перед увязкой обертывают одним или двумя слоями бумаги, которую промасливают или пропитывают парафином для предохранения листов от коррозии. При упаковке полированного и шлифованного листов из коррозионно-стойкой стали листы добавочно перекладывают фланелью или бумагой.

Упаковка полосового металла производится по периметру металлической упаковочной лентой, проволокой или креплением конца рулона специальной клейкой пластмассовой лентой. Способы упаковки полос в рулонах определяются теми же обстоятельствами, что и при упаковке листов.

Обычно холоднокатаные рулоны перед упаковкой промасливают, затем увязывают одной полоской по периметру, обертывают бумагой сначала промасленной, а потом 2–3-слойной водонепроницаемой. Обернутый рулон увязывают снаружи по периметру и высоте. Рулоны тонкого металла, жести и другого металла с покрытиями устанавливают на деревянные брусья при перевозках в горизонтальном положении или на деревянные поддоны при перевозках в вертикальном положении и увязывают совместно с ними. Иногда внутрь вставляют распоры.

Рулоны узкой полосы обертывают промасленной и упаковочной бумагой (каждый рулон), а также в ряде случаев мешковиной, после чего увязывают, устанавливают на поддон и увязывают вместе с ним. При поставке крупными партиями часто из нескольких предварительно увязанных рулонов делают стопу, ставят ее на поддон, обертывают промасленной и водонепроницаемой бумагой, а затем увязывают совместно с поддоном.

3. Производство холоднокатаных листов с покрытиями

Наиболее распространенным методом борьбы с коррозией является *предохранение металла защитными покрытиями*. Нанесение покрытий на поверхность холоднокатаных листов и полос необходимо для придания поверхности металла требуемых физико-химических свойств и для декоративных целей.

Все виды покрытий подразделяют на две группы: *металлические и неметаллические*, которые применяют для защиты металла от коррозии и агрессивных сред. В качестве металлических покрытий используют Sn, Zn, Al и другие металлы, неметаллических — пластмассы, краски, лаки и др.

Во многих отраслях народного хозяйства (химической, пищевой, нефтяной) широко применяют жести, изготовленную из низкоуглеродистой стали с 0,07–0,1 % С. На станах холодной прокатки производят жести в рулонах и листах шириной 700–1200 и толщиной 0,05–0,08 мм. Исходной заготовкой является горячекатаная полоса толщиной 1,8–3, шириной 700–1250 мм в рулонах массой до 30 т.

Современным способом производства жести является высокопроизводительный рулонный способ. *Технологический процесс производства жести* имеет следующую последовательность. Первой операцией является травление горячекатаных рулонов. Затем следуют прокатка на непрерывном стане, обезжиривание, отжиг, дрессировка и лужение в рулонах или карточках.

Лужение называется нанесение на поверхность металла слоя олова, который характеризуется хорошей коррозионной стойкостью к агрессивному воздействию различных сред. Общая толщина покрытия в виде переходного слоя FeSn_2 достигает 0,025 мм. Лужение жести осуществляют горячим и электролитическими способами.

Жесть горячего лужения изготавливается в листах и рулонах. Технология горячего лужения основана на погружении стального листа или рулонной полосы во флюс, а затем в ванну с расплавленным оловом. Для горячего лужения применяются агрегаты, в которых осуществляют технологические операции в такой последовательности: травление, промывка, флюсование, покрытие оловом, формирование покрытия, обезжиривание, очистка. Основные операции (флюсование, покры-

тие оловом, формирование покрытия) осуществляются в лудильной ванне (машине), в которой слой расплавленного олова с температурой 270–330 °С со стороны входа покрыт водным раствором флюса $ZnCl$ с температурой 250–270 °С, а со стороны выхода — слоем масла.

В настоящее время большое распространение получило *электролитическое лужение жести*, при котором наносится очень тонкий слой олова толщиной 0,5–0,15 мкм.

Электролитическое лужение жести применяют для консервной тары неагрессивных сред. Этот способ — рулонный, производится на непрерывных агрегатах, он в 2 раза дешевле горячего лужения и характеризуется высокой производительностью и автоматизацией процесса. Однако коррозионная стойкость жести электролитического лужения меньше, чем горячего. Процесс лужения жести в агрегатах осуществляется в такой последовательности: размотка, сварка полос, электролитическое обезжиривание, травление, электролитическое покрытие, оплавление, пассивирование и смотка.

Основная операция в агрегатах электролитического лужения осуществляется в ваннах электролитического покрытия, в которых анодом являются электроды из чистого олова, помещенные по обеим сторонам полосы, а катодом — полоса. Электролит для лужения состоит из раствора $SnSO_4$, H_2SO_4 и различных добавок поверхностно-активных веществ, позволяющих увеличить стабильность процесса.

В ванне оплавления уменьшается пористость оловянного покрытия и увеличивается химическая стойкость. Для оплавления покрытия применяют индукционную установку или установку контактного оплавления. Оплавленный слой покрытия быстро охлаждается в воде, что позволяет получить блестящую поверхность. В камере пассивирования на оловянном слое создается оксидная пленка, что повышает коррозионную стойкость жести. В последнее время для экономии олова электролитическую жесть подвергают лакировке.

В нашей стране значительное количество холоднокатаной листовой стали подвергается цинкованию, в частности полосовая углеродистая сталь толщиной 0,4–1,5 мм. *Цинковое покрытие* на полосовой стали наносится методом погружения (горячее цинкование) и электролитическим методом. Горячим цинкованием достигается толщина покрытия до 10 мкм, а электролитическим — до 5 мкм.

Наибольшее применение получил способ *горячего цинкования* как более простой, дешевый и производительный. Технология цинкования в непрерывных агрегатах состоит из следующих основных операций: размотки рулона, сварки концов полос в бесконечную полосу, очистки, термообработки, покрытия полосы цинком, пассивирования цинкового покрытия, смотки полосы или резки на листы с укладкой их в пакеты. Очистка полосы осуществляется с целью обезжиривания и очистки от загрязнений, при этом используются методы химической и электрохимической очистки в щелочных растворах.

Термообработка предназначена для подготовки поверхности полосы к нанесению цинкового покрытия с целью снятия наклепа, полученного при холодной прокатке.

Покрытие полосы цинком осуществляется после термической обработки с охлаждением ее до 480–520 °С в специальной ванне с расплавленным цинком, имеющим постоянную температуру 440–450 °С. Толщина цинкового покрытия регулируется отжимными роликами или струей газа с регулируемым давлением.

Пассивирование цинкового покрытия осуществляется в растворе хромового ангидрида (Cr_2O_3) при температуре 80–85 °С с последующей сушкой горячим воздухом. Наряду с цинковым покрытием применяется покрытие алюминием, хромом, свинцом и др.

При нанесении *алюминиевого покрытия* используется метод погружения стальной полосы в расплавленный алюминий. Горячее алюминирование производится в непрерывных агрегатах.

Хромированные листы получают электролитическим или диффузионным методом. В последнем случае при термической обработке распущенных рулонов в колпаковые печи подается газ, содержащий хром, и в течение 12–18 ч происходит диффузионное насыщение хромом.

Освинцевание холоднокатаной полосовой стали осуществляется в ваннах с расплавом свинца и олова, имеющим температуру 360 °С. В связи с тем, что свинец не взаимодействует с железом, покрыть стальной лист непосредственно свинцом невозможно. Поэтому расплав содержит олово, которое является подслоем. В процессе происхождения листа в ванне с расплавом на поверхность осаждается вначале оло-

во, с которым свинец имеет хорошую адгезию. Толщина покрытия составляет 6–12 мкм, а масса — 60–120 г/м², при этом оно содержит 18–20 % Sn.

В последнее время расширяется производство полос, покрытых различными *пластмассами*. Сочетая в себе прочность, гибкость стального листа, высокую антикоррозионную стойкость пластиков, металлопласт заменяет в ряде случаев нержавеющую сталь, цветные металлы и сплавы. В качестве покрытия используется чаще всего полихлорвиниловая пленка толщиной 0,18–0,40 мм. При производстве металлопласта предусматриваются следующие операции: подготовка стальной полосы к плакированию, нанесению клея на полосу в вальковой машине, термическая обработка клеевого слоя в индукторах токами высокой частоты, нанесение клея на пленку, смотка металлопласта с одновременной подачей покрытия с клеем в рулоны. Подготовка стальной полосы к плакированию включает химическое обезжиривание, очистку в щеточномоечных машинах, промывку и сушку. В процессе изготовления металлопласта важнейшим условием является достаточная адгезия в системе металл — клей — полихлорвиниловая пленка, что достигается применением специальных термопластичных клеев, например, ХВ–ВА, ПФЭД, СВ–4У и др. Свойства металлопласта определяются в основном свойствами металлической основы и покрытия.

4. Дефекты холоднокатаных листов

Дефекты холоднокатаной листовой стали могут иметь различное происхождение, обусловленное нарушениями технологии как в сталеплавильных цехах, так и при производстве горячей и холоднокатаной листовой стали. Все дефекты холоднокатаного проката можно подразделить на четыре группы: *дефекты геометрии, поверхности, травления и термообработки*.

Основными дефектами, относящимися к первой группе, являются *продольная и поперечная разнотолщинность, серповидность, коробоватость, волнистость, тонкий, толстый, узкий, широкий, короткий и длинный прокат*.

К дефектам второй группы можно отнести *плены, волосовины, пузыри, отпечатки и надавы, рваную крошку, вкатанную крошку, царапины, раковины, рябизну, порезы, навалы, продольные и поперечные трещины, расслоения* и др.

Дефекты травления, относящиеся к третьей группе дефектов, включают в себя *недограв и переграв* металла (для коррозионно-стойкой стали в этом отношении особенно вредно повышенное содержание анионов соляной кислоты, вызывающих точечную коррозию металла), насыщение водородом (при травлении в растворах серной кислоты и недостаточном количестве или плохом качестве ингибиторов), *ржавые пятна* на поверхности.

Основные дефекты, относящиеся к четвертой группе, возникают вследствие нарушения режимов термообработки.

К вышеуказанным дефектам необходимо добавить возможность появления *телескопичности рулонов* (следствие поперечной разнотолщинности проката и неправильной настройки моталок), *загибы и смятия кромок листов и рулонов*.

Причины образования дефектов холоднокатаных листов и способы устранения некоторых из них изложены выше, при рассмотрении технологии производства холоднокатаных листов.

Как правило, дефекты холоднокатаных листов удалить не представляется возможным или их удаление экономически невыгодно.

5. Производительность станов холодной прокатки листов

Практическая часовая производительность на станах холодной прокатки определяется так же, как и для станов горячей прокатки листов.

Однако на станах холодной прокатки необходимо учитывать время вспомогательных операций, которое является составляющим ритма прокатки.

В случае прокатки на реверсивном стане холодной прокатки ритм прокатки определяется по формуле (53), где $\Sigma\tau_{\Pi}$ есть сумма времени вспомогательных операций. При расчете производительности непрерывного стана холодной прокатки ритм прокатки $T = \Sigma\tau_{\Pi} + \Sigma\tau_{\Pi}$. Работа на непрерывных и реверсивных станах холодной прокатки осуществляется с перекрытием. Тогда ритм прокатки представляет собой разность цикла прокатки (τ_{Π}) и перекрытия циклов прокатки ($\tau_{\text{пер}}$), равного времени между началом прокатки последующего раската и началом прокатки предыдущего раската. В

общем случае машинное время прокатки определяется формулой (54). Скорость прокатки в этом случае вычисляют по окружной скорости валков с поправкой на опережение:

$$V = \frac{\pi D n}{60} \left(1 + \frac{S}{100} \right), \quad (88)$$

где D — диаметр рабочих валков, м; n — частота вращения валков, мин⁻¹; S — опережение, %.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются станы холодной прокатки листов?
2. Перечислите способы производства холоднокатаных листов.
3. Какие преимущества имеют прокатные станы бесконечной прокатки?
4. В каких случаях применяются одноклетевые станы холодной прокатки листов?
5. Назовите основные преимущества многовалковых станов.
6. Перечислите технологические операции производства холоднокатаных листов.
7. В чем заключается подготовка исходного металла к деформированию на станах холодной прокатки листов?
8. Какие задачи ставятся перед процессом холодной прокатки листов?
9. Какие режимы деформирования применяются на непрерывных станах холодной прокатки?
10. Какие факторы влияют на процесс деформирования на станах холодной прокатки?
11. Перечислите требования к технологическим смазкам, применяемым на станах холодной прокатки.
12. Какие технологические операции применяются при отделке холоднокатаных листов?
13. Что такое дрессировка металла?
14. Какие виды покрытий применяются в производстве холоднокатаных листов?
15. Какие технологические приемы учитывает время вспомогательных операций на прокатных станах холодной прокатки?

Глава 9. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Категория *качество продукции* является одной из объективных характеристик продукции и представляет собой совокупность свойств, необходимых и достаточных для удовлетворения требований к ней потребителей. Качество продукции характеризует лишь те свойства, которые связаны с удовлетворением определенных потребностей в соответствии с назначением продукции.

Необходимость улучшения качества продукции диктуется целым рядом причин: требованием повышения надежности и долговечности машин и механизмов в связи с повышением их конструктивной сложности и технических характеристик (скоростей, давлений, температур и т.д.); необходимостью повышения конкурентоспособности товаров; повышением спроса населения на более качественные товары; необходимостью рационального использования природных и трудовых ресурсов; отрицательным влиянием низкого качества продукции на экономику страны и морально-психологический климат трудовых коллективов и др.

В основе повышения качества прокатной продукции лежит стандартизация. Она определяет рациональную номенклатуру прокатной продукции и требования к нему, предотвращает выпуск устаревших видов прокатной продукции и является двигателем технического прогресса, то есть она должна быть опережающей и базироваться на новейших достижениях науки и техники.

В настоящее время, основным направлением в производстве качественной продукции является управление ее качеством. Управление качеством отличается от контроля качества тем, что позволяет влиять на качество продукции на всех стадиях производства не после ее изготовления, а в процессе изготовления.

1. Стандартизация и ее роль в производстве проката
Характерным условием современного производства проката является существенное влияние на него стандартизации.

Стандартизация — это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон при

соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности. Стандарт — это документ, содержащий ряд требований (норм), подлежащих выполнению в виде основной единицы или физической константы (например, метр).

Стандарт и качество — понятия неотъемлемые и взаимно влияющие друг на друга. Чем выше требования, установленные стандартами, тем выше уровень качества продукции. Качественные показатели, обусловленные стандартами, представляют собой совокупность основных потребительских свойств.

Стандарт — это результат конкретной работы по стандартизации, выполненной на основе достижений науки, техники и практического опыта, принятый (утвержденный) компетентной организацией. Существуют следующие категории:

государственные стандарты (ГОСТ), обязательны к применению всеми предприятиями и организациями во всех отраслях производства;

отраслевые стандарты (ОСТ), обязательны для всех предприятий и организаций данной отрасли;

республиканские стандарты (РСТ), обязательны для всех предприятий и организаций республиканского и местного подчинения данной республики;

стандарты предприятий (СТП), обязательны только для определенного предприятия.

В случае необходимости производства новых, еще не стандартизированных видов продукции в связи с ростом требований к качеству ее производят в соответствии с *техническими условиями (ТУ)*.

Объектами стандартизации являются конкретная продукция, а также нормы, правила, требования, методы, термины, обозначения и т.п., многократно применяющиеся в технике, промышленности и других сферах народного хозяйства.

В зависимости от содержания предусматриваемых в стандартах требований стандарты разделяются на виды. Для продукции черной металлургии наиболее распространены следующие виды: стандарты марок; стандарты сортамента; стандарты технических требований; стандарты правил приемки; стандарты методов испытаний (контроля); стандарты правил упаковки, маркировки, транспортировки и хранения; стан-

дарты технических условий (всесторонних технических требований).

Важное значение имеет *государственный надзор* за внедрением и соблюдением стандартов и технических условий.

Государственный надзор за качеством продукции производится за внедрением и соблюдением стандартов или другой нормативно-технической документации, а также за своевременным прекращением действия устаревших стандартов.

При проведении контроля соблюдения стандартов и качества продукции на предприятии производится проверка соответствия готовых изделий требованиям стандартов и технических условий, а также проверка состояния технологической дисциплины, соответствия технологии производства изделия утвержденным технологическим инструкциям.

Прокатная продукция металлургических предприятий почти полностью охвачена государственной стандартизацией, т.е. на каждый вид продукции имеется ГОСТ или ТУ. Нестандартной является только вновь осваиваемая продукция.

Действующая система стандартов на прокатную продукцию построена по схеме: стандарт технических условий; стандарт на сортament; стандарты на методы испытаний. В стандартах на прокат нормируется химический состав стали; требования к форме и размерам изделий. Устанавливаются также основные технические требования, определяемые при различных температурах, специальные физические свойства, например, такие, как коррозионностойкость, магнитная проницаемость, магнитная индукция.

А в зависимости от характера передела прокатной продукции на предприятиях машиностроения устанавливаются показатели, характеризующие технологические свойства стали: штампуемость, обрабатываемость и другие свойства. Кроме того, нормируются показатели, характеризующие качество поверхности проката, наличие поверхностных и внутренних дефектов.

Стандарты на прокатную продукцию, как правило, разрабатываются ступенчатыми, в них предусматривается поставка одного и того же вида прокатной продукции с различным сочетанием нормируемых показателей или с различным уровнем показателей. В этих случаях стандарт предусматривает несколько групп или категорий исполнения продукции. Так, например, ГОСТы на сортament содержат 2–3 группы по

точности проката, 2–4 группы по плоскостности и серповидности проката. Ступенчатость или категоричность стандартов отражает особенности прокатной продукции в различных областях техники и условиях эксплуатации, а также изготовление одного и того же вида продукции несколькими металлургическими заводами, отличающимися по составу и техническому уровню оборудования, технологии, исходному сырью.

2. Качество прокатной продукции

Качество прокатной продукции включает в себя такие свойства, как прочность, пластичность, хладостойкость, свариваемость, стойкость к коррозии, состояние поверхности, точность размеров поперечного сечения и другие характеристики, которые в каждом конкретном случае определяются условиями эксплуатации металлических изделий в конструкциях, машинах, сооружениях.

Факторы, определяющие качество готового проката, находятся в сложной зависимости и во многих случаях действуют в противоположных направлениях. Так, благоприятное с точки зрения условий прокатки увеличение отношения ширины слитка к его толщине является неблагоприятным с точки зрения трещиноустойчивости при кристаллизации и охлаждении слитков.

В процессе производства прокатной продукции возможно повышение эксплуатационных характеристик ее технологическими методами, широко применяемыми в настоящее время в прокатных цехах. К ним относятся: термические и термомеханические методы обработки готового проката; увеличение жесткости рабочих клетей; отделка поверхности проката; нанесение на поверхность проката металлических и неметаллических покрытий и др.

Уровень качества прокатной продукции в основном определяется качеством исходного металла (слитков и заготовок), состоянием прокатного оборудования и инструмента, нормативно-технической документацией (НТД) и качеством труда исполнителей.

К основным показателям качества прокатной продукции относятся физико-механические свойства, качество поверхности, геометрия профиля, точность размеров профиля.

Физико-механические свойства проката, а также и служебные (коррозионная стойкость, штампуемость, свариваемость и др.) определяются в основном химсоставом стали, но в ряде случаев можно улучшить их в прокатном переделе за счет термо- и термомеханической упрочняющей обработки, контролируемой прокатки, оптимальных режимов нагрева и охлаждения.

Качество поверхности проката зависит от качества поверхности исходного металла (слитков и полупродукта) и тщательности выполнения отделочных операций по зачистке поверхности от дефектов.

Под точностью профиля при прокатке следует понимать соответствие размеров его поперечного сечения в любых плоскостях и по всей длине раската допускам, устанавливаемым соответствующим ГОСТом. Кроме того, точный профиль должен иметь правильную геометрическую форму и высокое качество поверхности, сводящие к минимуму операции отделки. Допуск, как правило, устанавливается двусторонний относительно номинального размера, но может быть и односторонним. Усовершенствование конструкции прокатных станов и технологии прокатного производства создает предпосылки для повышения точности прокатки, т.е. уменьшения поля допусков.

Факторы, определяющие точность прокатки, можно условно разделить на две группы: факторы конструктивного характера и технологические факторы.

К факторам конструктивного характера относятся тип стана, разная степень точности обусловлена количеством рабочих клетей, количеством одновременно прокатываемых полос в одной клети, скоростью прокатки и длиной полос и др.; тип рабочих клетей, который определяет удобство настройки и величину отдачи валков, условия деформирования металла и др.; подшипники валков и тип подшипников; шпиндели и наличие радиального биения их в системе шпиндель–валок; арматура, точность ее настройки и качество поверхности.

К технологическим факторам относится давление прокатки. Точность прокатки определяется не абсолютным значением давления металла на валки, а его колебанием в процессе прокатки. При этом меняется зазор между валками и, как следствие, высота калибра и полосы. В свою очередь, коле-

бания давления прокатки зависят от целого ряда причин: колебания температуры раската по его длине; колебания температуры отдельных раскатов; непостоянства геометрических размеров раскатов; натяжения полос между клетями; изменения числа прокатываемых раскатов в клети; изменения скорости прокатки и др.; температуры металла по длине раската и поперечному его сечению, а также колебания температуры от раската к раскату; колебания механических свойств заготовок и раскатов, обусловленных химической неоднородностью слитка по высоте; системы калибровки, не отвечающей требованиям получения точного профиля проката; износа валков, который практически является основной причиной постепенного увеличения размеров проката; температуры валков, меняющейся в процессе прокатки, а следовательно, и диаметра валков, что вызывает изменение высоты калибра и др.

Большое влияние на качество прокатной продукции оказывает его управление, т.е. выработка и реализация управляющих решений на основании информации о программном и фактическом состоянии качества проката.

Управление качеством проката имеет ряд особенностей:

на качество проката влияют смежные с металлургией отрасли: горнорудная, машиностроение, энергетика и др., т.е. это комплексная проблема;

качество проката, как правило, проявляется у потребителя в снижении коэффициента расхода металла, повышении срока службы и надежности изделия, т.е. в снижении затрат на эксплуатацию;

повышение качества проката увеличивает его себестоимость и должно компенсироваться, если экономия у потребителей перекрывает затраты изготовителя.

Любая система управления качеством включает шесть основных этапов: разработку НТД (стандарт, ТУ и др.); подготовку производства (разработку технологии, подготовку оборудования, инструмента, металла, непосредственных исполнителей); производство проката; контроль качества проката; устранение выявленных недостатков; поддержание достигнутого уровня качества в процессе дальнейшего производства.

3. Организация технического контроля в прокатных цехах

Вся прокатная продукция, которая производится на металлургическом предприятии по ходу ее технологии производства на отдельных переделах и перед окончательной сдачей на склад готовой продукции, контролируется *отделом технического контроля (ОТК)*.

Вся изготавливаемая предприятием продукция может быть поставлена потребителю только после приемки ее ОТК и оформления в установленном порядке сертификата или иного документа, удостоверяющего качество готовой продукции.

Основная цель контроля — обеспечение соответствия качества продукции требованиям НТД путем контроля качества исходного металла, готовой продукции и параметров технологического процесса, профилактической работы по предупреждению брака, внедрения новых стандартов и ТУ, а также новых средств и методов контроля с целью повышения его надежности.

Из всех видов технического контроля наиболее важную роль играют три вида, во многом определяющие качество готовой продукции: входной контроль, приемочный контроль, контроль технологического процесса.

Входной (плавочный) контроль проводится с целью проверки соответствия качества поступающих на предприятие сырья, материалов, топлива, полуфабрикатов и т.п. требованиям, которые установлены в стандартах, технических условиях и другой нормативно-технической документации.

Входной контроль поступающих на предприятие материалов может быть сплошным или выборочным. Входной контроль проводится в специально отведенном для этих целей помещении (участке), оборудованном необходимой контрольно-измерительной аппаратурой, мерительным инструментом и средствами контроля. Для осуществления входного контроля в структуре ОТК предприятия должно быть создано специализированное подразделение входного контроля — участок ОТК внешней приемки, в задачу которого входит проведение входного контроля качества поступающих на предприятие сырья, материалов, топлива, огнеупоров; контроль за соблюдением складскими работниками правил хранения и выдачи в производство сырья, материалов и т.п.; вызов представителей поставщиков для рассмотрения забракованной продук-

ции и т.д. Входной (плавочный) контроль осуществляется в прокатных цехах после прокатки на обжимных станах.

Схема проведения входного контроля и его объем зависят от химсостава и назначения плавки. Выбранный для контроля слиток, разлитый в наилучших условиях, прокатывается со всей плавкой до заданных размеров. От раската в определенном порядке отбираются темплеты (рис. 169), образцы из которых подвергаются специальным испытаниям.

Место отбора от раската, а также место вырезки образцов из пробы, направление оси образца к оси изделия (пробы) оказывают значительное влияние на результаты испытания.

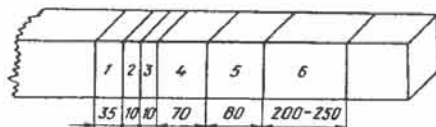


Рис. 169. Схема вырезки проб для плавочного контроля: 1 — на макроструктуры в поперечном направлении; 2 — на продольный излом; 3 — на металлические включения; 4 — на механические свойства; 5 — на макроструктуру в продольном направлении; 6 — для ступенчатой обточки

Приемочный контроль является наиболее важным видом технического контроля, так как по его результатам принимается окончательное решение о пригодности продукции к поставке ее потребителям.

Приемочный контроль должен обеспечивать выпуск только качественной продукции; соответствие уровня качества продукции установленным требованиям; установление причин отклонений показателей качества продукции от установленных нормативных показателей качества и др. Он также может быть сплошным или выборочным, что определяется стандартами и ТУ на проверяемую продукцию и осуществляется специально закрепленными для этой операции, обученными и высококвалифицированными работниками ОТК.

Применяемые для приемочного контроля мерительный инструмент и приборы должны использоваться только для этих целей. Использование одного и того же мерительного инструмента для приемочного контроля качества продукции в технологическом процессе не допускается. В процессе приемочного контроля проводятся различные испытания прокатной продукции и оценка ее качества. Испытания осуществляются при помощи проб или образцов, которые изготавливают-

ся из металла, отобранного специальным образом. Места отбора образцов выбираются так, чтобы отобранная проба или образец достоверно характеризовали контролируемый показатель для всей партии. Кроме того, место отбора должно быть выбрано таким образом, чтобы были наименьшими потери металла. Например, место отбора проб для механических испытаний различных видов прокатной продукции различно. Оно определяется направлением прокатки, сечением профиля, шириной полосы (листа) и др. (рис. 170).

При приемке прокатной продукции, имеющей отступления от требований стандартов или заказчика, последний заявляет свои претензии изготовителю — рекламацию, которая подлежит тщательному разбору и учету.

Задачей *контроля технологического процесса* является проверка соответствия режимов, характеристик, параметров технологического процесса и качества выпускаемой продукции требованиям технологических инструкций, стандартов, технических условий и т.д.

Контроль за соблюдением технологии производства включает операционный контроль и инспекционный контроль. При *операционном контроле* проверяется выполнение требований технологических инструкций, стандартов и технических условий в соответствии со схемами контроля технологических процессов, обеспечивающими непрерывность контроля на всех переделах. В задачу *инспекционного контроля* входит контроль соответствия продукции требованиям нормативно-технологической документации.

4. Методы и средства контроля качества прокатной продукции

Контроль технологического процесса и качества прокатной продукции имеет большое значение. В прокатных цехах осуществляется контроль качественными и количественными методами визуально или при помощи приборов и инструментов.

Основными требованиями, предъявляемыми к методам испытаний, являются их надежность, которая выражается в повторяемости результатов при многократных испытаниях одного и того же материала, и доступность метода, т.е. возможность его использования в производственных условиях без применения сложных дорогостоящих установок или уникальных

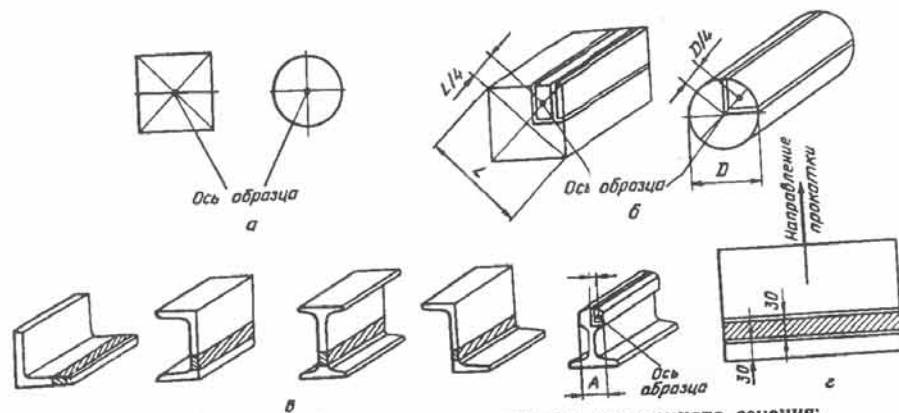


Рис. 170. Схема отбора проб из проката различного поперечного сечения: а — из квадратной и круглой стали до 55 мм; б — из квадратной и круглой стали свыше 60 мм; в — из фасонных профилей; г — из листовой стали

приборов. Кроме того, время испытания должно быть таким, чтобы обеспечить возможность проверки поставляемой прокатной продукции в условиях поточного производства.

В процессе приемочного контроля осуществляются оценка качества поверхности прокатной продукции и внутренних дефектов, исследование механических свойств металла и проведение его технологических испытаний.

Оценка качества поверхности производится следующими методами:

- грубая оценка — осмотр поверхности полупродукта и готового проката с местной зачисткой ее (светлением) в виде колец, зигзагообразной шлифовкой наждачным кругом или без нее;

- при повышенных требованиях к качеству поверхности изделия подвергают травлению в водных растворах кислот для полной очистки их от окалины. Простая визуальная оценка выявляет число и характер расположения дефектов, но не позволяет определить глубину их залегания.

Для выявления глубины залегания поверхностных дефектов и выявления подповерхностных дефектов применяют: осадку образцов круглых или квадратных сечений, в холодном и горячем состоянии высотой, равной двум-трем диаметрам до половины или одной трети первоначальной высоты; ступенчатую обточку круглых и строганных квадратных образцов до 3–5-й ступеней.

Визуальный контроль поверхности с помощью оптических приборов называется визуально-оптическим. К таким методам

относятся применение систем зеркал, периодического фотографирования, дистанционная передача изображения с помощью телевизионного оборудования и др.

Оценка внутренних дефектов осуществляется макроисследованием проката, которое производится двумя путями:

способом излома. В этом случае темплет толщиной 15–30 мм подвергается термообработке и ломается по оси под молотом. Излом рассматривается невооруженным глазом или через лупу. По балльной системе оцениваются следы усадочной раковины и рыхлости, неметаллические включения, расслой, флокены, пузыристость, волокнистость, прокаливаемость, величина зерна (рис. 171);

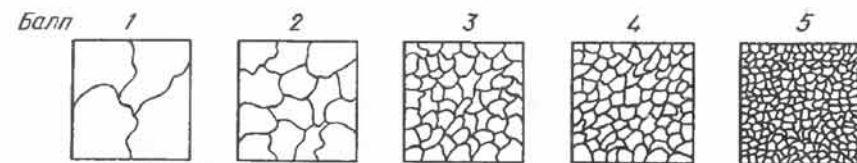


Рис. 171. Шкала оценки величины зерна по ГОСТ 5939–82

способом макротравления. Темплеты шлифуются и травятся в водных растворах кислот. По балльной шкале оцениваются дефекты макроструктуры: центральная пористость, подкорковые пузыри, межкристаллитные трещины и т.д.

Микроисследования проката осуществляются на полированных шлифах под микроскопом с балльной оценкой следующих дефектов: глубины обезуглероженного слоя; количества и величины неметаллических включений; структуры стали; карбидной неоднородности или цементной сетки и др.

При исследовании механических свойств применяются следующие виды испытаний.

Испытание на растяжение производят на стандартных и натуральных термообработанных образцах при комнатной и высокой температурах на разрывных машинах в специальных лабораториях. По данным испытаний определяются σ_B , σ_T , δ . Кроме основных стандартов на методы испытаний растяжением имеются стандарты на методы испытаний тонких листов и полос толщиной от 3 до 0,5 мм.

Испытание на ударную вязкость на специальном копре характеризует хрупкость стали при ударной нагрузке. В качестве образцов применяют образцы квадратного сечения 10×10 мм и длиной 55 мм, испытываемые на изгиб на двух

опорах. Ударная вязкость определяется работой, расходуемой на ударный излом, отнесенной к рабочей площади поперечного сечения образца в месте надреза.

Испытание на твердость осуществляется вдавливанием стального шарика (испытание по Бринеллю), алмазного конуса (испытание по Роквеллу) или пирамиды (испытание по Виккерсу) под определенной нагрузкой и др.

Для получения технологических характеристик металла в практике производства проката используются различные виды технологических испытаний, к которым относятся пробы на загиб и перегиб; на расплющивание — двойной кровельный замок; проба Эриксона — на выдавливание (штампруемость); на удар; на усталость; на кручение; на осадку; на сплющивание и т.д. При этом соответствующими ГОСТами оговариваются условия проведения испытаний.

Для современного производства проката характерна тенденция широкого распространения методов обнаружения дефектов металла с помощью приборов без его разрушения, которые получили название *неразрушающих методов контроля*. Их применяют для выявления как поверхностных, так и внутренних дефектов, они могут быть использованы непосредственно в потоке со скоростью, соизмеримой со скоростью обработки. В табл.11 приведены методы неразрушающего контроля, получившие наибольшее распространение.

Самый простой и дешевый метод контроля качества поверхности прокатанного металла — *визуальный*. Ему предшествует полное или местное удаление окалины с контролируемой поверхности. Визуальный контроль весьма трудоемок и несовершенен.

Метод контроля, основанный на проникающих свойствах жидкости, иногда с добавкой красителя или люминофора, применяют для выявления дефектов на передельной заготовке, трещин на рабочих валках, для контроля качества поковок типа шайб-дисков.

Магнитный метод основан на свойстве магнитного потока локализоваться около дефектов. Дефект распознают либо визуально по картине распределения ферромагнитного порошка, нанесенного предварительно в виде пасты или суспензии, либо с помощью феррозонда — магниточувствительного преобразователя напряженности магнитного поля в электрический сигнал.

Ультразвуковой метод контроля позволяет обнаруживать и определять несплошности и трещины всех типов — от микроскопических до раковин, расслоений, газовых пузырей и т.п., практически на любой глубине и в любых металлических материалах. Этот метод основан на способности отражения ультразвуковых колебаний от поверхности раздела сред с различным акустическим сопротивлением. Узкий пучок ультразвуковых колебаний, введенный в достаточно однородную среду, распространяется прямолинейно, пока не достигнет границы упругой неоднородности (трещины, раковины, шлакового включения или противоположной грани изделия). На границе неоднородности ультразвуковых колебаний отражаются, образуя за неоднородностью область так называемой ультразвуковой тени. При помощи специального приемного устройства обнаруживаются дефекты внутри изделия. На практике используют дефектоскопы типа УДЦ-25, УДМ-1М, ДПХ-003 и др.

Наиболее универсальным является *электроиндуктивный* метод (метод вихревых токов), который применяется для контроля поверхностных дефектов, твердости, фазового состава, глубины обезуглероженного слоя и т.п. Метод основан на свойствах вихревых токов отражаться и возвращаться в испытательную катушку. Отражение и преобразование энергии зависит от свойств контролируемого металла, следовательно, ток в катушке будет нести информацию о свойствах металла и наличии дефектов в нем.

Получает применение, главным образом, в обжимном производстве *рентгено- и гамма-дефектоскопия*.

Большое распространение в производстве проката получил метод *статистического контроля*, заключающийся в экспериментальном и статистическом исследовании уровня качества проката. С помощью статистических (математической статистики) методов изучается зависимость механических свойств проката от содержания химических элементов в стали и технологических факторов производства.

Данные этих зависимостей заносят в таблицы, по которым оценивают, прогнозируют показатели качества проката.

Значительный эффект получается от внедрения статистического метода контроля, который достигается за счет сокращения объема трудоемких механических испытаний и сниже-

Таблица 11. Методы неразрушающего контроля

Метод	Область применения	Минимальный размер обнаруживаемых дефектов, мм	Используемая аппаратура
Визуальный	Контроль поверхностных дефектов (трещин, плен, закатов)	Ширина 0,1 (без увеличительных приборов)	Простые и бинокулярные лупы
Основной на проникновении жидкостей: люминесцентный, цветной (метод красок)	Контроль поверхностных дефектов (трещин, плен, рыхлостей, зон межкристаллитной коррозии)	Глубина 0,02—0,04, ширина 0,001—0,02	Оборудование для окрашивания или душирования заготовок (реактивы) ¹
Магнитный (порошковый, магнитолюминесцентный)	Контроль поверхностных дефектов (трещин, раскаты, танговых пузырей и т.д. на ферромагнитных сталях)	Глубина 0,005—0,01, ширина 0,0001—0,001	Специальные намагничивающие и размагничивающие устройства
Электроиндуктивный (вихревых токов)	Контроль поверхностных дефектов на ферромагнитных и неферромагнитных сталях	Глубина 0,01, ширина 0,001	Специальная измерительная аппаратура
Ультразвуковой	Контроль внутренних несплошностей, различных включений, зон крупнозернистой структуры	Несплошности и трещина 0,01×0,01 и более	Переносная и стационарная электроизмерительная аппаратура
Просвечивания: рентгеновскими лучами	Контроль металлоизделий толщиной 80—1100 мм с целью выявления поверхностных и внутренних трещин, ориентированных вдоль направления луча, раковин, ликвационных зон, раскаты загрязнений (неметаллических и шлаковых включений)	Дефекты протяженностью (в направлении луча) 3 % от толщины изделия, шириной 0,025	Высоковольтная аппаратура со специальной защитой от воздействия лучей
гамма-лучами	То же	То же	Простая и компактная аппаратура со специальной защитой от воздействия лучей

¹ Токсичны и огнеопасны при цветной дефектоскопии.

ния расхода металла на пробы. Ускорение процессов контроля при внедрении статистического метода контроля сокращает цикл производства, снижает загруженность складов готового проката, повышает оперативность поставки готового проката потребителям.

Одним из важнейших факторов повышения качества прокатной продукции является получение объективных и достоверных данных при помощи контрольно-измерительных приборов (дефектоскопов). Наличие таких данных дает возможность воздействия как на процесс производства прокатной продукции (с точки зрения качества), так и на контроль качества. Таким образом, *качество прокатной продукции тесно связано со знаниями об измерениях, методах и средствах их единства и способах достижения необходимой точности, т.е. с метрологией.*

При производстве прокатной продукции нет буквально ни одного этапа производства, который мог быть успешно реализован без применения методов и средств измерений.

Такое влияние измерительной техники на отдельные этапы и направления производства продукции требует особой ее подготовленности. Малейшее отклонение уровня развития измерительной техники от объективно необходимого оптимума сразу же отрицательно отражается на показателях качества и эффективности производства продукции, вызывает значительные потери материальных средств и ресурсов. В связи с этим перед метрологией стоят задачи, которые можно определить следующим образом: обеспечение единообразия и высокого качества средств измерений, находящихся в эксплуатации; единство, правильность, сопоставимость и достоверность результатов измерений при заданной точности; постоянная подготовленность методов, методик и средств измерения к практическому их применению и др.

5. Управление качеством прокатной продукции

В условиях рыночной экономики предприятия постоянно решают проблему обеспечения конкурентоспособности продукции, от которой зависит их успешная деятельность. Основа конкурентоспособности — высокий уровень качества продукции. Для достижения этой цели необходима соответствующая материальная база, квалифицированный и заинтересованный персонал и четкая организация работ по управлению качеством.

Для получения качественной прокатной продукции целесообразно создать условия, позволяющие **управлять качеством** на всех стадиях производства.

Управление качеством – это методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству, которые включают, например, контроль, сбор и распределение информации о качестве, разработку мероприятий, принятие оперативных решений, их реализацию др. То есть управление качеством представляет собой системный подход к решению этой проблемы, которая влияет на производство продукта (услуги) на всех стадиях производства от закупки сырья до поставки продукции потребителю. Такая система основывается на международных стандартах ИСО серии 9000 (ИСО – Международная организация по стандартизации), а также стандартах ГОСТ Р.

В соответствии с рекомендациями указанных стандартов процесс производства продукции разбивается на отдельные элементы производственного процесса, которые оказывают наибольшее влияние на качество. Например, закупка сырья; проектирование производства; производство; подготовка кадров; складирование готовой продукции и др. В указанных стандартах приводятся двадцать элементов. Каждый из элементов описывается нормативной документацией, выполнение которой при производстве качественной продукции обязательно. Наличие комплекса документов в общем случае принимается как “система качества”, которая может быть сертифицирована независимым органом (третьим независимым лицом), то есть признана соответствующей международным стандартам ИСО серии 9000, а продукция, производимая в соответствии с этими стандартами, – продукцией высокого качества.

Система качества, как определено в стандартах, – это совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством. Центральной частью системы качества является служба качества, в состав которой, как правило, включаются: отдел технического контроля, отдел или бюро управления качеством, метрологическая служба, отдел стандартизации, центральная заводская лаборатория. Служба качества организует работу на предприятии (создает и внедряет систему качества), контролирует качество продукции, обеспечивает производство средствами измерений, проводит внутренние проверки системы качества, координирует,

контролирует и осуществляет методическое руководство другими структурами, выполняющими свои функции в этой системе.

Цехи-изготовители, конструкторские и технологические отделы, отдел снабжения, отдел труда и заработной платы, отдел подготовки кадров, склады и другие подразделения предприятия формируют качество и выполняют другие функции, которые существенно влияют на качество. В этом случае система призвана уже не только управлять качеством, но и обеспечивать качество продукции.

Создание и внедрение на предприятии системы качества – это трудоемкий и достаточно длительный процесс, в котором участвует большинство сотрудников предприятия. Разработка, внедрение и функционирование системы качества требует осознания всеми работниками предприятия поставленной цели и непосредственного участия в ней всех – от рабочих до руководителей предприятия.

После получения сертификата на продукцию или систему качества предприятие получает определенную выгоду на рынке сбыта, получения прибыли, что дает возможность предприятию функционировать эффективнее.

В законе Российской Федерации о сертификации продукции и услуг сказано: “Сертификация – это деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям”. Это подтверждение оформляется в виде документа – **сертификата**, который выдается органом по сертификации и удостоверяет, что продукция или система качества соответствует определенным стандартам или техническим условиям, т.е. это гарантия определенного уровня качества.

Сертификация бывает *обязательная* и *добровольная*. Обязательная сертификация осуществляется для проверки соответствия продукции обязательным требованиям стандартов, к которым относятся:

- требования по обеспечению безопасности для жизни и здоровья населения;
- требования по охране окружающей среды;
- требования по совместимости и взаимозаменяемости.

Для оценки достигнутого уровня качества предприятие по собственной инициативе может проводить добровольную сертификацию, которая позволяет предприятию укрепить позиции на рынках сбыта, подтвердив сертификатом высокое качество продукции.

Материальная база предприятия и квалифицированный персон

нал служат основой для производства продукции высокого качества и создают обстановку действительной заинтересованности в результатах труда.

При наличии на предприятии материальной базы и обеспеченности персонала всеми необходимыми средствами и желанием трудиться необходимо, чтобы персонал еще и понимал и умел это делать.

Отсутствие на предприятии необходимой материальной базы или незаинтересованность работников в высоком качестве своего труда означает, что нет основы для создания высококачественной продукции. Поэтому требуется постоянная подготовка и переподготовка персонала по всем необходимым направлениям.

При обучении производственного персонала необходимо иметь в виду, что качество продукции формируется в производственном процессе и методы изготовления продукции должны быть направлены на достижение необходимого качества. Поэтому обучение качеству неотрывно от обучения профессии. При этом в процессе обучения может потребоваться ознакомление с некоторыми разделами из смежных областей, таких, как метрология, статистика и др.

Поскольку такие работники участвуют в общем производственном процессе, им необходимо знать общее представление о действующей системе качества, свою роль и место в этой системе, а также взаимодействие по вопросам качества с другими работниками предприятия и администрации. Например, какие последствия их ожидают при забраковании изделий и, наоборот, какое моральное и материальное поощрение они получают при стабильном обеспечении требуемого качества продукции. Комплекс этих и других вопросов, дополненных профессиональными знаниями, должен быть предметом специального обучения в области качества.

Контрольные вопросы

1. Что такое стандартизация?
2. Какие стандарты применяются на отечественных предприятиях?
3. Перечислите основные показатели качества прокатной продукции.
4. Какие основные виды контроля осуществляются в прокатных цехах?
5. Что такое входной (плавочный) контроль?
6. Какие задачи ставятся перед приемочным контролем?
7. Перечислите методы контроля качества прокатной продукции.
8. Какие виды окончательных испытаний готовой продукции применяются на металлургических предприятиях?
9. Определите понятие метрологии.

10. Чем отличается управление качеством от контроля качества?

11. Что является центральной частью системы качества?

12. Какова роль персонала при функционировании системы качества на предприятии?

Глава 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Автоматизация — это применение в процессах производства приборов и механизмов, позволяющих осуществлять их без непосредственного участия человека, а лишь под его контролем.

Автоматизация обеспечивает наиболее рациональное ведение производственных процессов, эффективное использование оборудования и максимальную производительность. Поточность производства на прокатных станах создала благоприятные условия для автоматизации технологического процесса. Автоматизация прокатных станов позволяет сократить продолжительность отдельных технологических операций, сократить паузы между проходами раскатов, снизить простои станов, повысить качество проката, уменьшить потери металла, топлива, электроэнергии, смазочных материалов и в целом улучшить технико-экономические показатели работы стана.

Различают автоматизацию отдельных механизмов, т.е. *частичную (локальную)* автоматизацию (например, транспортировку и кантовку металла и т.п.) и *комплексную* автоматизацию, при которой автоматизированы все основные и вспомогательные процессы технологического производства проката. Комплексная автоматизация является высшей ступенью автоматизации.

В настоящее время в развитии автоматизации прокатного производства осуществляется широкое использование *управляющих вычислительных машин (УВМ)*. Машины вычисляют все отдельные заданные величины и сравнивают их с постоянными заданными величинами. Применение УВМ позволяет сократить число приборов обслуживания и обеспечить оперативное управление технологическим процессом.

На прокатных станах внедряется использование *микропроцессоров и микро-ЭВМ*, обеспечивающих повышение работы и диагностики неисправностей оборудования станов, сниже-

ние энергопотребления и т.п. Микро-ЭВМ управляет группой агрегатов, а при необходимости устанавливает связь с универсальной вычислительной машиной, находящейся на значительном расстоянии. Микро-ЭВМ строит схемы цифровой автоматики, обеспечивает диалог с оператором, контролирует правильность его действий, подсказывает их очередность, коррекцию скоростных режимов в процессе прокатки.

Применение УВМ улучшает использование оборудования стана благодаря сокращению времени на настройку стана, а также повышает скорость прокатки до пределов, недостижимых при ручном управлении.

1. Автоматизация обжимных и сортопрокатных станов

Производство заготовок для прокатки характеризуется высокой интенсификацией и объемом, что требует значительной автоматизации технологического процесса на них. На блюмингах и слябингах в настоящее время автоматизирован целый ряд операций, к которым относятся нагрев металла в нагревательных колодцах; подача слитков от нагревательных колодцев к приемному рольгангу; работа главного привода рабочих валков, нажимного устройства, сталкивателя блюмов и слябов на холодильник и др.

Автоматизация работы нагревательных колодцев направлена на достижение равномерного нагрева слитков до заданной температуры при оптимальной длительности нагрева их в колодцах и обеспечивает контроль и регулирование температуры в колодцах; соотношение количества газа и воздуха; давления газа в колодцах; отключение газа при открывании крышки колодца; положение перекидных клапанов

Температура в колодцах контролируется аппаратурой, состоящей из термопар и электронных потенциометров. Соотношение газа и воздуха регулируют при помощи гидравлических струйных регуляторов, а давление в рабочем пространстве при помощи гидравлических или электрических регуляторов.

Работа слитковоза на обжимных станах *полуавтоматизирована*, так, автоматически производятся операции разгона, торможения его при подходе к приемному рольгангу и его остановка, опрокидывание слитка на первые ролики приемного рольганга. Операции же остановки слитковоза против не-

обходимой ячейки, из которой будет выниматься мостовым краном нагретый слиток, а также его движения после укладки на него слитка осуществляются с пульта поста управления.

Автоматизация управления главным приводом обеспечивает изменение направления вращения валков при реверсивной прокатке; повышение частоты вращения двигателя после захвата металла валками; снижение частоты вращения двигателя в случае буксовки валков в момент захвата металла; управление частотой вращения двигателя в момент выброса металла из валков для сокращения пути при обратной подаче слитка в валки; отключение двигателя при максимальной его перегрузке с возможностью последующего его включения. Точное перемещение верхнего валка на обжимных станах в соответствии с заданным режимом обжатия обеспечивает *автоматизация управления нажимным устройством*. Схема управления состоит из электронного счетного устройства и следящей системы. В схеме счетного устройства имеется несколько реле счетов, каждое из которых срабатывает после прохода металла через валки. После последнего прохода реле окончания счета приводит счетное устройство в исходное положение. Счетное устройство производит переключение следящей системы привода нажимных винтов в соответствии с заданной программой обжатий.

Локальная автоматизация применяется на непрерывных заготовочных станах (НЗС). Примером такой автоматизации является *автоматическая работа летучих ножниц*. При выходе из последней клетки стана раскат разрезается на заготовки летучими ножницами. Привод летучих ножниц включается автоматически от импульса фотореле или флажкового выключателя, которые устанавливаются на определенном расстоянии впереди ножниц. Передний конец заготовки после выхода из последней клетки НЗС засвечивает фотореле (или включает флажковый выключатель), которое дает импульс на включение привода ножниц. При выходе заднего конца заготовки из поля фотореле оно выключает двигатель и ножницы останавливаются.

Достаточно широкое применение на НЗС нашла *автоматизированная система безостаточного раскрытия заготовки*, которая позволяет снижать расходный коэффициент металла в обжимных цехах. Для эксплуатации этой системы используют-

ся автоматическая система работы летучих ножниц в совокупности с ЭВМ.

На НЗС заготовку прокатывают одновременно во всех или нескольких клетях. Поэтому для этих станов имеет большое значение точное согласование скоростей прокатки в отдельных клетях в соответствии с вытяжкой металла. Применение на НЗС двигателей постоянного тока позволяет автоматически регулировать скорость прокатки в каждой клетке стана. Это обеспечивает соблюдение постоянства секундных объемов металла, проходящего через каждую клетку.

Установленные в последние годы сортопрокатные станы характеризуются высокими скоростями прокатки. Ведение технологического процесса прокатки на таких станах возможно только на основе автоматизации. Объектами автоматизации на сортопрокатных станах являются участок нагревательных печей; главные приводы рабочих клеток и собственно рабочие клетки; раскрой проката; вспомогательное оборудование; механизмы уборки готовой продукции.

Автоматизация печного участка заключается в обеспечении ритма загрузки и выдачи заготовок из печи, а также автоматизации теплового режима нагрева заготовок. Ритм загрузки и выдачи заготовок из печи, а также ритм прокатки на стане обеспечивается регулятором темпа, минимальная величина которого определяется временем от момента подачи импульса от фотореле, установленного перед первой клетью черновой группы, до момента включения электродвигателя выталкивателя. Засвечивание фотореле при прохождении переднего конца заготовки подготавливает включение электродвигателя выталкивателя. Выдержку времени задает электронное реле времени. После прохождения заготовки и затемнения фотореле электронное реле начинает отсчет времени, по истечении которого начинается выдача очередной заготовки.

Автоматическое управление тепловыми процессами нагрева металла в методических печах обеспечивает равномерное распределение температуры по длине и сечению заготовок, минимальное количество окалины, снижение удельного расхода топлива, устраняет свариваемость заготовок при изменении темпа прокатки, уменьшает затраты на обслуживание печи.

Печи оснащены контрольно-измерительными приборами для

замера температур металла и рабочих зон, давления и расхода топлива и воздуха в коллекторах и по зонам печи, разрежения в борове и др.

Контроль и автоматическое регулирование теплового режима осуществляется по сигналам датчиков температуры, давления и расхода газа и воздуха, давления в печи.

Регулирование температуры в печи. Температура по зонам измеряется платиновыми-платиновыми термопарами, установленными в своде печи. В случае выхода из строя рабочей термопары срабатывает световая сигнализация и автоматически включается резервная термопара. Установка задания на температуру в зонах осуществляется с помощью соответствующих групп блоков управления. Задание на температуру индицируется на узкопрофильном приборе.

Управление температурным режимом каждой зоны осуществляется путем автоматического регулирования расхода газа на зону. При отключении изменяемой температуры от заданного значения поступает сигнал на исполнительный механизм регулирующего дроссель-клапана, который изменением расхода газа поддерживает температуру зоны на заданном уровне.

Изменение задания на температуру в зонах осуществляется автоматически. Кроме того, в автоматическом режиме осуществляется регулирование соотношения газ-воздух, регулирование давления в печи, регулирование температуры труб регулятора.

Прокатка на непрерывных станах требует обеспечения постоянства секундного объема металла, проходящего через валки каждой рабочей клетки. Даже незначительные нарушения этого условия нежелательны, так как могут вызвать либо застревание полосы между клетями, либо искажение размеров профиля. Поэтому задача автоматизации приводов непрерывного проволочного стана является одной из самых важных.

Для более гибкого регулирования процесса прокатки рабочие клетки, как правило, оборудуют индивидуальными электроприводами.

Поддержание заданных оборотов прокатных валков осуществляется системой полуавтоматического регулирования. Регулирование частоты вращения роторов прокатного электродвигателя в диапазоне от нуля до основной частоты вра-

щения производится изменением напряжения на якоре двигателя. Процесс запуска электродвигателя автоматизирован с помощью устройства токоограничителя, что обеспечивает плавный пуск двигателя. Система регулирования для прокатных станов не только удовлетворяет всем требованиям технологии, но и благодаря своей гибкости позволяет корректировать работу каждой клетки в отдельности, совершенствуя технологию прокатки.

Практика работы непрерывных станов показала, что обязательным условием получения точного профиля по всей длине раската является прокатка без натяжения при наличии петли между клетями. На станах, где не предусмотрена установка устройств для поддержания петли, монтируют системы автоматической стабилизации режима прокатки (АСРП), которые обеспечивают поддержание заданного режима прокатки с малым натяжением. Способ АСРП основан на косвенной оценке межклетевого натяжения полосы по ее провисанию (прогибу) на участках между клетями непрерывной группы. В каждом межклетевом промежутке измеритель положения полосы непрерывно измеряет отклонения полосы от некоторого фиксированного положения по отношению к оси прокатки, устанавливаемого оператором. Выходное устройство измерителя положения полосы подключено к системе автоматизированного регулирования скорости двигателя рабочей клетки. По сигналу, уровень которого зависит от величины прогиба, изменяется скорость вращения валков клетки и восстанавливается заданный прогиб. Опыт эксплуатации такой системы на непрерывных мелкосортных станах показал, что система надежна в эксплуатации, повышает точность размеров сечения готового проката 2,5–3 раза.

Современные системы для поддержания требуемого соотношения скоростей между электродвигателями главных приводов рабочих клеток позволяют обеспечить точность регулирования до 1 мин^{-1} и поддержание заданной частоты вращения валков с допуском $\pm 0,5\%$. Предусмотрена возможность одновременного изменения скорости во всех последующих клетях при изменении заданного значения скорости любой клетки.

Сложной задачей является автоматическое регулирование размеров сортового проката для обеспечения требуемой точности. В решении этих вопросов важная роль принадлежит разработке средств контроля размеров поперечного сечения

прокатываемого профиля в линии стана. При наличии надежного прибора для измерения размеров проката может быть применена система автоматического регулирования межвалковых зазоров в предчистовых и чистовых калибрах.

Как и в обжимном производстве, эффективным является внедрение автоматизированного безостаточного раскроя на сортопрокатных станах, позволяющего экономить до 2–3 % от общего количества проката. Рациональным является метод раскроя, при котором раскат делится на полосы без остатка. Данный метод раскроя, используемый при прокатке на мелкосортных станах, требует определения длины раската в условиях, когда в момент входа переднего конца в плоскость реза летучих ножниц задний конец располагается перед первой клетью. Блок-схема устройства безостаточного раскроя раската приведена на рис. 172. Длина раската определяется по времени прохождения его перед фотореле, установленным перед первой клетью стана, фиксируется счетчиком и передается в регистр. Временная масштабная метка вырабатывается генератором и поступает в счетчик через делитель частоты. Фотореле, установленное за чистовой клетью, фиксирует передний конец раската и включает счетчик отсчета длины полосы. По отсчету длины, эквивалентной числу, записанному в регистре, срабатывает схема совпадений, включается механизм реза ножниц и от раската отделяется полоса. Перенос числа из счетчика в регистр командой фотореле обеспечивает возможность измерения длины последующего раската до порезки предыдущего.

В развитии автоматизации прокатного производства в настоящее время характерно широкое применение автомати-

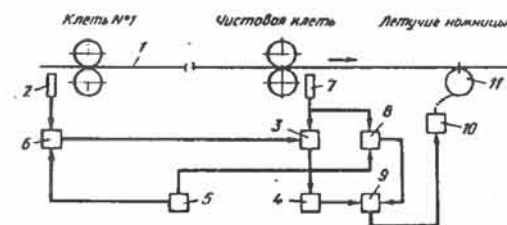


Рис. 172. Блок-схема равномерного раскроя раската на непрерывном мелкосортном стане 250:

1 — раскат; 2 — фотореле; 3 — счетчик; 4 — регистр; 5 — генератор; 6 — делитель частоты; 7 — фотореле; 8 — счетчик; 9 — схема совпадений; 10 — механизм реза ножниц; 11 — ножницы

зированных систем управления технологическим процессом (АСУТП) с использованием ЭВМ.

Ввод в эксплуатацию на прокатных станах комплексных АСУТП, оснащенных ЭВМ, обеспечивает стабильность параметров технологического процесса прокатки, повышает точность размеров проката, качество поверхности, значительно улучшает физико-механические свойства готовой продукции. На современных прокатных станах используются мощные ЭВМ, с которыми связаны микропроцессорные системы (микро-ЭВМ) для управления отдельными агрегатами и механизмами. АСУТП стана включает датчики, системы контроля, регуляторы, релейные устройства управления, программные следящие и управляющие устройства, электронно-вычислительные машины.

Принципиальная схема структуры ЭВМ и ее связь с объектом управления через локальные автоматические системы управления представлены на рис. 173.

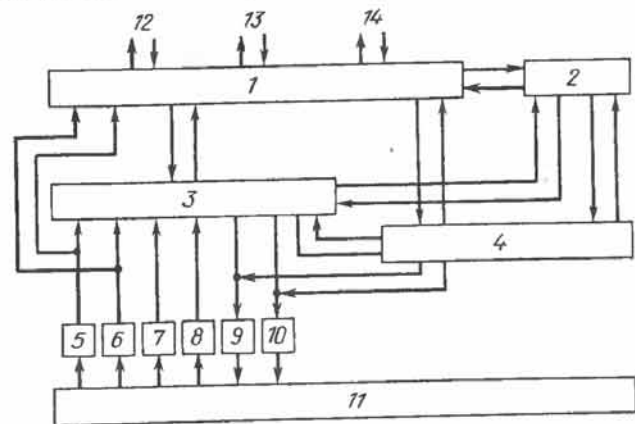


Рис. 173. Структурная схема комплекса АСУТП мелкосортного проволочного стана:
1 — управляющий вычислительный комплекс; 2 — устройство связи с оператором; 3 — подсистемы управления технологическими процессами, реализуемые на мини-ЭВМ; 4 — локальные подсистемы; 5 — датчики с частотным выходом; 6 — датчики с аналоговым выходом; 7 — датчики с цифровым выходом; 8 — датчики позиционные; 9 — аналоговые исполнительные механизмы; 10 — дискретные исполнительные механизмы; 11 — объект управления; 12 — связь с АСУ складом заготовок; 13 — связь с АСУП; 14 — связь с АСУ складом готовой продукции

На верхнем уровне иерархии АСУТП решаются задачи учета сменных и суточных показателей работы стана, безостаточного раскроя металла, оптимизации работы отдельных технологических участков стана (предварительной настройки ра-

бочих клеток непрерывных групп, управления процессом ускоренного охлаждения металла и др.), выработки команд системам нижнего уровня иерархии. Расчет программ оптимизации раскроя проката на стане, решаемый управляющей ЭВМ на основе прогнозирования длины готовой полосы и деление ее летучими ножницами на установленные длины без остатка, с последующей порезкой их на товарные длины, обеспечивает повышение производительности, снижение расхода металла и улучшение качества продукции.

На нижнем уровне иерархии АСУТП подсистемами с использованием микропроцессорной техники (мини-ЭВМ) решаются задачи информационного сопровождения металла, оптимизации температурного режима нагрева заготовки, настройки стана, управления скоростным режимом прокатки, процессами ускоренного охлаждения раската, учета продукции и др.

В настоящее время все строящиеся и реконструируемые сортопрокатные станы оборудуются АСУТП на базе микро- и мини-ЭВМ.

2. Автоматизация листопрокатных станов

На толстолистовых станах объектами автоматизации являются участки нагревательных устройств, рабочих клеток, отделки и термообработки.

На участке нагревательных устройств осуществляется автоматизация транспортирования и взвешивания заготовок, задача заготовок в нагревательное устройство и выдача заготовок, регулирование режима нагрева заготовок. Автоматизация участка нагревательных устройств обеспечивает выбор условий нагрева и требуемое количество нагрева при заданной производительности; выдачу информации персоналу участка о размерах, количестве, качестве и температуре посяда слитков и слябов; выдачу рекомендаций по загрузке нагревательных колодцев и печей с учетом текущей и планируемой производительности стана.

На участке рабочих клеток осуществляется автоматизация управления главными приводными электродвигателями; транспортными рольгангами; поворотным устройством; манипуляторами; дистанционной перестройки положения механизмов клеток, измерителей, сопел гидросбива окалины; подвода рас-

ката к ножницам, обрезки концов и порезки на мерные длины; подачи и остановки раската перед роликозакалочной машиной (или другим устройством для термообработки с прокатного нагрева); включения и отключения воды для охлаждения раската; покачивания раската при термообработке; выдачи раската после термообработки.

Локальные системы управления основными технологическими переменными участка рабочих клеток включают системы регулирования толщины, профиля, формы и ширины раската.

Система автоматического регулирования толщины (САРТ) обеспечивает раскат заданной выпуклости профиля раската при прокатке в чистовой клетке. *Система автоматического регулирования формы (САРФ)* поддерживает требуемый уровень неплоскостности раската в последних чистовых пропусках. При отсутствии САРФ неплоскостностью раската управляет УВМ участка рабочих клеток с использованием работы САРТ и САРП. За шириной раската в большинстве случаев следит УВМ участка рабочих клеток за счет управления положением валков черновой клетки.

На участке отделки и термообработки автоматизируются дистанционная настройка правильных машин и ножниц; безупорный порез раската на мерные длины и управление ножницами; управление термической обработкой; сопровождение и сортировка листов с учетом вырезки и зачистки дефектных мест; взвешивание листов, суммирование массы партии и количества листов в карманах на участке уборки листов; центрирование листов (раскатов) по оси рольгангов и их транспортирование.

АСУТП участка отделки и термообработки предназначена для обеспечения требований, предъявляемых к готовой продукции, и поддержания оптимальных условий работы оборудования.

Автоматизация широкополосных станов горячей прокатки преследует следующие цели: повышение уровня и управление основными показателями качества горячекатаной широкополосной стали (структурой, механическими свойствами, геометрическими размерами, профилем, планшетностью, качеством поверхности и др.) за счет стабилизации параметров процесса; увеличение производительности за счет интенсификации процессов, сокращение простоев и аварийных ситуа-

ций; сокращение обслуживающего персонала и улучшение условий труда.

Широкополосные станы горячей прокатки — наиболее автоматизированные объекты прокатного производства. Это обусловлено их высокой производительностью, т.е. быстрой окупаемостью затрат на АСУТП.

Автоматизированная линия широкополосного стана горячей прокатки состоит из следующих участков: нагревательные печи; черновая группа клеток; чистовая группа клеток; участок уборки горячекатаных полос.

На участке нагревательных печей автоматически определяются положение слябов до посадки, в печи и после выдачи; дефекты (плены, закаты, раковины, трещины и пр.) в горячем и холодном состоянии слябов перед нагревательной печью; масса слябов перед нагревательной печью; количество слябов, выданных из нагревательной печи; температура слябов в тоильной зоне печи.

На участке черновой группы клеток автоматизированы положение слябов до и после каждой клетки; положение нажимных винтов горизонтальных и вертикальных валков каждой клетки; положение направляющих линеек перед каждой клетью; температура раската за первой и последней клетью; толщина раската на промежуточном рольганге; ширина раската после последней клетки; усилия прокатки в клетях с горизонтальными валками; скорости прокатки в клетях с горизонтальными валками и рольгангов.

На участке чистовой группы клеток автоматически определяются: положение раската в каждой секции промежуточного рольганга и в каждой рабочей клетке группы; длина отрезаемой ножницами части конца раската; положения нажимных винтов каждой клетки; положения линеек перед каждой клетью; температуры полосы перед чистовой группой и после нее; толщина полосы на выходе из чистовой группы; ширина полосы за чистовой группой; планшетность полосы (отклонения от плоскостности) после чистовой группы; натяжение полосы в межклетевых промежутках; скорость прокатки в каждой клетке; скорость движения полосы за последней клетью; машинное время в последней клетке; пауза между раскатами в последней клетке; простой стана по последней клетке.

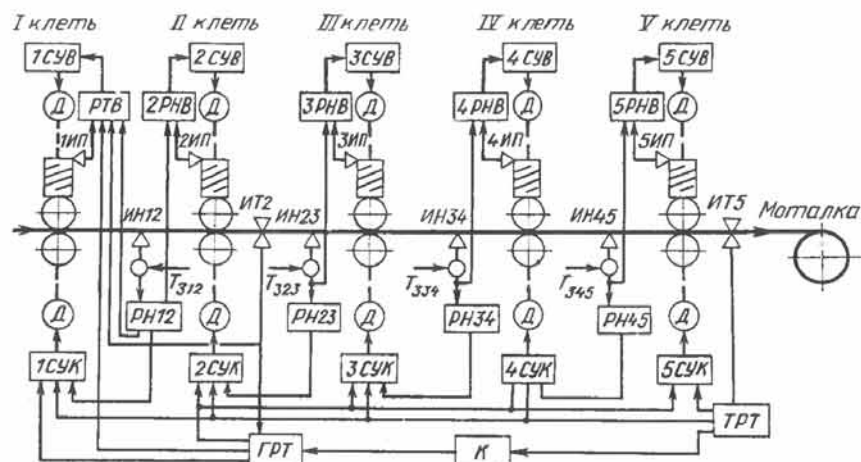


Рис. 174. Функциональная система комплекса систем регулирования толщины полосы и межклетевых натяжений непрерывного стана холодной прокатки

На участке моталок автоматизированы положения полос и рулонов на отводящем рольганге, у моталок, на конвейерах; температуры полосы перед смоткой на моталки; синхронность скоростей последней клетки, секции рольгангов и моталок; положения задних концов полос в каждой моталке; определение массы рулонов на транспортирующем конвейере.

К основным автоматизированным локальным системам современных широкополосных станов относятся: система автоматического регулирования натяжения в черновой группе клеток; система автоматического регулирования ширины; система автоматического регулирования натяжения (САРН) в чистовой группе клеток; система автоматического регулирования толщины полосы (САРТ); система автоматического регулирования поперечного профиля полос; система автоматического регулирования температуры конца прокатки; система автоматического регулирования температуры смотки полос.

Автоматизация агрегатов цехов холодной прокатки позволяет повышать качество листовой стали, производительность цехов, степень непрерывности и надежности работы оборудования, экономию металла за счет сокращения расходного коэффициента, улучшаются условия труда.

Автоматизируемые операции на станах холодной прокатки составляют три основные группы: заправку переднего конца полосы в стан и выдачу заднего конца полосы из стана; подготовку, настройку и перестройку стана; процесс прокатки.

Основными системами автоматического управления регулирования технологического процесса холодной прокатки являются: система автоматического регулирования толщины (САРТ); система автоматического регулирования натяжения (САРН); система автоматического регулирования профиля и формы полосы (САРПФ); система автоматической подачи смазочно-охлаждающей жидкости (САПОЖ). Функциональная схема комплекса систем регулирования толщины полосы и межклетевых натяжений непрерывного стана холодной прокатки, основанная на непосредственном измерении толщины, показана на рис. 174. Расположенным за пятой клетью микрометром ИТ5 подается сигнал отклонения толщины полосы от заданной на вход "тонкого" регулятора толщины полосы (ТРТ). Выходной сигнал ТРТ воздействует на систему управления пятой клетью (5СУК) или на системы управления предыдущими клетями (1СУК—4СУК). Если толщина полосы на выходе стана меньше заданной, то происходит замедление частоты вращения валков пятой клетки, уменьшается натяжение полосы между четвертой и пятой клетями, а толщина полосы, выходящей из пятой клетки, увеличивается. Если же толщина полосы за пятой клетью увеличилась, то согласованно снижается частота вращения валков первой — четвертой клетки, что приводит к увеличению натяжения перед пятой клетью и уменьшению толщины полосы. Уменьшение частоты вращения валков при отклонении толщины полосы в любую сторону существенно повышает динамичность регулирования по сравнению с регулированием путем повышения скорости, так как замедление осуществляется под действием суммы статического момента электродвигателя, а ускорение — под действием разности этих моментов.

Для устройства "грубой" регулировки толщины полосы (ГРТ) основным является сигнал от микрометра ИТ2 об отклонении толщины за второй клетью пятиклетевых или за первой клетью для четырехклетевых станов. В зависимости от знака отклонения толщины выходной сигнал ГРТ подается на вход 1СУК—5СУК, в результате частота вращения валков первой или второй — пятой клеток замедляется. Грубое регулирование толщины полосы может достигаться также воздействием на нажимные винты первой клетки через регулятор толщины РТВ по сигналам микрометра, установленного за первой или второй клетью. Регулятор может также работать

в режиме коррекции регулятора ГРТ для расширения его диапазона. В этом случае входным сигналом РТС является относительное отклонение частот вращения валков первой и второй клетей. Межклетевые натяжения ограничивают регуляторы натяжения (РН). При отклонении натяжения полосы, фиксируемого измерителем натяжений (ИН), за пределы зоны нечувствительности, установленной относительно заданного натяжения ТЗ, замедляют частоту вращения валков предыдущей или последующей клетей регулируемого межклетевого промежутка. Система РНВ регулирует натяжение, включая привод перемещения нажимных винтов последующей клетки вверх или вниз, в зависимости от знака отклонения натяжения.

Значительное развитие вычислительной техники вызвало быструю и интенсивную разработку систем оптимального управления технологией прокатки на базе управляющих вычислительных машин (УВМ). Функции управления, передаваемые в настоящее время УВМ, чрезвычайно разнообразны. УВМ выбирают оптимальную технологию обработки и настраивают на нее технологическое оборудование, корректируют настроечные параметры.

Существуют различные варианты структур систем автоматического управления УВМ станом холодной прокатки металла. Одной из структур является работа УВМ в режиме "советчика". Выдаваемые ею решения являются рекомендацией для вальцовщиков, которые используют УВМ как расчетчика режимов прокатки. Использование УВМ в режиме советчика позволяет получить существенный экономический выигрыш за счет более оптимальных режимов и устранения эффекта усталости и неопытности вальцовщиков.

Другой, наиболее совершенной и гибкой является структура, в которой УВМ решает задачи настройки, коррекции и адаптации. Непосредственное регулирование основных технологических параметров (толщина полосы, ее натяжение и плоскостность) осуществляется локальными аналоговыми системами. В такой системе УВМ воздействует на объект через локальные системы, реже — прямо на исполнительные механизмы стана. А наличие возможности и ручного воздействия делает такую структуру весьма надежной, так как при отказе УВМ основные технологические параметры регулируются, как и раньше, локальными системами.

Кроме системы управления технологией, современные цехи оборудуются *автоматизированными системами управления производством (АСУП)*. В задачу системы входит планирование производства и составление графиков, контроль за выполнением графиков и планов, сопровождение заказов и отдельных рулонов по технологической линии, сбор планово-экономической информации, составление паспортов продукции, сменных рапортов и т.п., а также выдача необходимой информации об обрабатываемой продукции в УВМ системы управления технологией.

Контрольные вопросы

1. Что такое автоматизация прокатного производства?
2. Перечислите объекты автоматизации в обжимном, прокатном и листопрокатном производствах.
3. Какие локальные системы автоматизации обжимных, сортовых и листопрокатных станов Вы знаете?
4. Перечислите существующие основные системы автоматического управления технологическим процессом на прокатных станах.
5. В чем заключается программное управление прокатными станами?

Глава 11. ОХРАНА ТРУДА В ПРОКАТНЫХ ЦЕХАХ

В прокатных цехах за последние годы произошли огромные технические и социальные преобразования. В результате строительства новых и реконструкции действующих прокатных станов, с внедрением совершенного прокатного оборудования и прогрессивных технологических процессов производства проката, комплексной механизации и автоматизации улучшаются условия труда рабочих. При этом на охрану труда сумма средств постоянно возрастает. Все это снижает производственный травматизм и профессиональные заболевания трудящихся.

Соблюдение требований охраны труда во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и в черной металлургии, контролируют государственные органы и общественные организации.

Большая роль в деле обеспечения безопасности труда отводится *службе техники безопасности предприятия*, в кото-

рую входят отдел техники безопасности, санитарно-техническая лаборатория, лаборатория охраны труда и т.д. Функция отдела техники безопасности заключается в организации работы по охране труда на предприятии и осуществлении контроля за соблюдением государственных и отраслевых стандартов по безопасности труда, правил и норм по технике безопасности и производственной санитарии, а также организации обучения и инструктирования рабочих и инженерно-технических работников в области охраны труда и систематической проверки их знаний.

Обеспечение безопасных и здоровых условий труда на предприятиях регулируется специальными нормативными актами по охране труда. Нормативные акты по охране труда подразделяются на республиканские, отраслевые и акты предприятий. Предприятия и организации могут выпускать свои нормативные документы по охране труда, такие, например, как стандарты безопасности предприятия, инструкции по безопасному проведению работ, инструкции по технике безопасности для отдельных профессий и т.д. Современное металлургическое предприятие оснащено комплексом специальных технических средств, обеспечивающих безопасные и здоровые условия труда. Такие технические средства представляют собой основные фонды охраны труда, в которые входят основные средства техники безопасности.

К основным средствам техники безопасности относятся оградительная техника (ограждение вращающихся частей опасных зон и т.д.), блокирующие системы безопасности (например, система блокировки включения пресса или ножниц при нахождении рабочего в опасной зоне), ограничительная техника (например, устройства по ограничению мест складирования заготовок и слитков), средства сигнализации (звуковой, световой), защитная техника (заземление, защитные экраны), предохранительные устройства, противопожарные средства, контрольно-измерительные приборы и инструменты, устройства для безопасного передвижения трудящихся (пешеходные тротуары, переходные мосты, туннели), кабинеты техники безопасности.

Для предупреждения воздействия на человека опасных и вредных факторов используют также вспомогательные фонды охраны труда, которые включают фонды вспомогательных средств безопасности: электрозащитные приборы и устройст-

ва (щипцы, клещи, штанги, диэлектрические боты, галоши, коврики, решетки), средства индивидуальной защиты (спецодежда, спецобувь, защитные очки, каски), вспомогательные приспособления (например, крюки для удаления стружки на токарном станке, экраны на наждачных точилах), средства наглядной агитации (уголки техники безопасности, плакаты, стенды, витрины), предупредительные надписи.

Полная безопасность труда человека в производственных условиях определяется тремя факторами: безопасностью производственного оборудования, производственного и трудового процессов.

Металлургическое производство характеризуется непрерывностью или периодичностью технологических и трудовых операций и работы механизмов и оборудования. В этих условиях опасные и вредные производственные факторы проявляют себя постоянно или периодически. К постоянно действующим опасным и вредным факторам могут быть отнесены движущиеся и вращающиеся части механизмов и оборудования, перемещение грузов, тепловые излучения, шум, вибрация и т.п., а к периодически действующим — расплавленный и нагретый металл, запыленность, загрязненность и др.

В металлургическом производстве могут возникать взрывы. Взрыв — это мгновенное изменение физического или химического состояния вещества, сопровождающееся быстрым выделением энергии, которое приводит к разогреву, движению и сжатию продуктов взрыва, окружающей взрывной или газовой среды, интенсивному давлению и разрушениям.

Взрывы, возникающие в ходе технологического процесса производства металлов и сплавов, называются технологическими. К ним относятся взрывы при контакте расплавленного металла и шлака с водой, взрывы газо- и пылевоздушных смесей, а также порошков и шлаков.

При воздействии электрического тока на организм человека возникают электротравмы — электрический удар, ожог. Электрический удар возможен при соприкосновении с токоподводящими частями оборудования. Ожог может быть вызван протеканием тока непосредственно через тело человека или воздействием электрической дуги. Электрическая травма, как правило, сопровождается электрическим ударом, т.е. воздействием тока на жизненно важные органы человека, поражением всего организма в целом. Результат поражения

электрическим током зависит от ряда факторов: электрического сопротивления тела человека, величины и длительности протекания тока через него; вида и частоты тока, индивидуальных свойств человека.

Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления его внутренних органов и кожи. Внутренние органы имеют сопротивление 300–500 Ом, а верхний слой кожи толщиной 0,05–0,2 мм обладает значительно большим сопротивлением, которое практически определяет общее сопротивление тела человека; при сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека выше 2000 Ом. Увлажненная и загрязненная кожа резко уменьшает сопротивление тела. Наименьшее сопротивление имеет место при повреждении кожи (300–500 Ом).

Величина силы тока является основным фактором, от которого зависит исход поражения человека. Наиболее опасным является действие переменного тока промышленной частоты силой 25–50 А и напряжением 110, 220, 380 В и выше. Существенное значение имеет также частота тока, которая опасна в основном с точки зрения теплового нагрева и влияния электрического поля. Тяжесть поражения зависит от пути прохождения электрического тока через тело человека. Если ток протекает по пути рука–рука или рука–нога, часть его проходит непосредственно через сердечную мышцу, что может привести к остановке кровообращения.

Серьезное влияние на исход электротравмы имеет продолжительность действия тока. Чем короче время прохождения тока, тем меньше опасность поражения.

Опасность травмирования при работе с электроустановками может возникнуть в следующих случаях: от прикосновения к неизолированным проводам, шинам, контактам различного оборудования, находящегося под напряжением; от прикосновения к корпусам машины и аппаратов, которые оказались под напряжением случайно, в результате повреждения изоляции; от близости человека к упавшему на землю проводу, находящемуся под напряжением; при ошибочном отключении разъединителя под нагрузкой, отключении контакта без дугогасительной камеры, если возникает электрическая дуга, могущая причинить ожоги; при появлении потенциалов на мокрых полах, стенах, при прикосновении к незаряженному конденсатору или кабелю, от наведенных напряжений, при

обратной трансформации и в других случаях. Основными мерами защиты в этих случаях является применение защитных отключений, индивидуальных средств защиты и др.

В металлургических цехах установлено большое число подъемно-транспортных машин и механизмов — электромостовых кранов, транспортеров, конвейеров, рольгангов, передвижных тележек и т.п., аварии которых могут привести к тяжелым последствиям.

Наиболее тяжелой разновидностью аварий этого типа является *обрушение моста крана*, когда его ходовые колеса сходят с пути.

Определенные требования предъявляются к *грузозахватным приспособлениям* кранов, к которым относятся крюки, электромагнитные шайбы, грейферы, подхваты и клещевые захваты. Они должны быстро захватывать и освобождать груз, надежно удерживать его при поднятии и перемещении. Самые жесткие требования предъявляются к *чалочным средствам* — стальным канатам, цепям, от прочности и надежности которых часто зависит безаварийная работа подъемно-транспортных механизмов. За состоянием чалочных средств устанавливают специальный надзор.

Одним из главных условий безопасности работы мостовых кранов является соблюдение необходимых габаритов в зоне их движения.

На уровне подкрановых путей устраивают ходовые настилы. Лестницы, которые ведут к посадочным площадкам и служат для доступа в кабины кранов, устанавливают под углом 45°; их оборудуют перилами и обортовкой по низу. Перила, окружающие посадочные площадки, имеют двери для доступа в кабину крана. Расстояние между перилами посадочной площадки и перилами моста крана устанавливают не менее 400 мм. Для прохода вдоль подкрановых путей с обеих сторон здания устанавливают ходовые галереи шириной не менее 700 мм.

Главные троллеи кранов располагают либо выше, либо ниже подкрановых путей.

В цехах, где применяются высокотемпературные процессы, имеется постоянная опасность возникновения пожара. *Пожар* — это неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением материальных ценностей и создающий опасность для жизни людей. Пожар, потушенный в самой на-

чальной стадии, называется *загоранием*. Причины пожаров различны — несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования, самовозгорание веществ и материалов, разряды статического электричества, неосторожное обращение с огнем и др.

Главным в работе по предупреждению пожаров является *пожарная профилактика*. Она представляет собой систему государственных и общественных мероприятий, проводимых с целью предупреждения пожаров, ограничения их распространения, создания условий для эвакуации людей из горящих зданий и быстрого тушения пожаров.

Для предупреждения пожаров выработаны общие условия выбора конструкционных материалов для зданий, сооружений и конструкций, которые по возгораемости делят на негоряемые (естественные и искусственные неорганические материалы, гипсовые или гипсоволокнистые плиты и др.), сохраняющие свою массу постоянной при воздействии на них тепла; трудногоряемые (гипсовые и бетонные детали с органическими заполнителями, асфальтовый бетон, подвергнутая глубокой пропитке антипиринами древесина, полимерные материалы и др.), при возгорании которых потери массы не превышают 20 %; сгораемые (органические материалы, не подвергнутые глубокой пропитке огнезащитными составами, такие как лесоматериалы, камышит, войлок и др.), потеря массы которых при воздействии тепла составляет более 20 %.

Для предупреждения распространения пожара конструкции зданий снабжают противопожарными преградами.

К *противопожарным преградам* относятся противопожарные стены (брандмауэры) и перекрытия. Противопожарные стены могут быть внутренние, наружные, крышечные и свободно стоящие. Внутренние противопожарные стены разделяют здание на части и ограничивают распространение огня внутри здания; наружные ограничивают распространение пожара на соседние строения. Крышечные — служат для разделения на отсеки чердачных помещений, а свободно стоящие противопожарные стены служат экранами против действия лучистой энергии.

Противопожарные стены опираются на фундаменты, возводятся на всю высоту здания и возвышаются над кровлей на 30—60 см.

Тушение пожаров сводится к прекращению горения путем механического, физического или химического воздействия при помощи огнегасительных средств, которые могут быть жидкие (вода, растворы солей), газообразные (водяные пары, газообразная углекислота), пенообразные, твердые (сухая земля, песок, твердая углекислота, выделяющиеся огнетушащие газы).

Наиболее распространенным средством борьбы с огнем является *вода*, которую применяют для тушения большинства пожаров.

В зданиях и сооружениях, где размещены особо опасные в пожарном отношении устройства, устанавливают автоматически действующие устройства для тушения пожаров. Они представляют собой сеть водопроводных труб с ввернутыми на определенном расстоянии головками, которые, в свою очередь, имеют легкоплавкие пластины или не имеют таких пластин и остаются открытыми. В первом случае вода течет при достижении температуры воздуха расчетного предела — расплавления пластин; во втором — воду подают вручную или автоматически при повышении температуры в помещении.

В противопожарных помещениях оборудуют *противопожарные уголки*, снабженные ящиками с песком, емкостями с водой и пожарно-инвентарным щитом с набором инвентаря: лопат, багров, крюков, топоров, мешков и т.д. Для тушения небольших очагов пожара при воспламенении твердых горючих материалов, а также различных горючих жидкостей на небольшой площади (не более 1 м²) применяют ручные пенные огнетушители ОП-5 а также ручные огнетушители ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8.

Для тушения керосина, бензина и других веществ, которые нельзя гасить водой, применяют пенные огнетушители, а также пеногенераторы.

Рекомендательный библиографический список

- Амосов П.Н. Основные технологические операции прокатного производства // Уч. пос. — Челябинск: ЧПИ. 1987—77 с.
- Бахтинов В.Б. Прокатное производство. — М.: Металлургия, 1987. — 416 с.
- Березовский В.В. Управление качеством продукции в черной металлургии. — М.: Металлургия, 1986. — 320 с.
- Бочков Н.Г. Производство качественного металла на современных сортовых станах. — М.: Металлургия, 1988. — 312 с.
- Бринза В.Н., Зиньковский М.М. Охрана труда в черной металлургии. — М.: Металлургия, 1982. — 336 с.

- Васильев Г.А., Жидков В.Д., Шакирзянова Л.Г. Основы безопасности труда на предприятиях черной металлургии. — М.: Металлургия, 1983. — 224 с.
- Грудев А.П. Теория прокатки. — М.: Металлургия, 1988. — 240 с.
- Диамидов Б.Б., Литовченко Н.В. Технология прокатного производства. — М.: Металлургия, 1979. — 488 с.
- Ефименко С.П., Следнев В.П. Вальцовщик листопрокатных станов. — М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
- Зотов В.Ф., Каширин В.Ф., Петров В.А. Прокатка металла. — М.: Металлургия, 1979. — 256 с.
- Зотов В.Ф., Елин В.И. Холодная прокатка металла. — М.: Металлургия, 1988. — 288 с.
- Клименко П.Л., Друзян В.М. Производство сортового проката. — М.: Металлургия, 1974. — 150 с.
- Куприн М.И., Куприна М.С. Основы теории прокатки. — М.: Металлургия, 1978. — 184 с.
- Левченко Л.Н., Натанов А.С., Баскин С.Л. Вальцовщик станов горячей прокатки. — М.: Металлургия, 1986. — 57 с.
- Литовченко Н.В. Калибровка профилей и прокатных валков. — М.: Металлургия, 1990. — 432 с.
- Мастеров В.А., Берковский В.С. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением. — М.: Металлургия, 1989. — 400 с.
- Прокатное производство// П.И.Полухин, Н.М.Федосов, А.А.Королев, Ю.М.Матвеев. — М.: Металлургия, 1982. — 696 с.
- Технология прокатного производства// В.М.Клименко, А.М.Онищенко, А.А.Мишаев, В.С.Горелик. — Киев: Выща школа, 1989. — 311 с.
- Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство// М.М.Сафьян, В.Л.Мазур, А.М.Сафьян, А.И.Молчанов — Киев. Выща школа, 1988. — 351 с.
- Технология процессов обработки металлов давлением// П.И.Полухин, А.Хензель, В.П.Полухин и др. / Под ред. П.И.Полухина. — М.: Металлургия, 1988. — 408 с.

Производственно-практическое издание

Зотов Валентин Федорович

Производство проката

*Редактор Т.А. Карасева
Компьютерная верстка С.А. Дубник*

Лицензия код 221 ЛР № 090171 от 17.04.97.

Подписано в печать 27.06.2000 г.	Формат издания 60×88 ¹ / ₁₆
Бумага офсетная № 1	Печать офсетная
Усл.печ.л. 21,56	Усл. кр.-отг. 21,56
Тираж 1000 экз.	Уч.-изд. л. 20,64
	Заказ № 512
	Изд. № А-0049/2000

“Интермет Инжиниринг”

103006, Москва, Старопименовский пер., д. 8, стр. 1-1А

Отпечатано с оригинал-макета в ППП «Типография «Наука»
121009 Москва, Шубинский пер., д. 6