

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации  
и переподготовки

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

**И. В. Астапенко  
В. А. Петрусевич**

## **ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХОВ**

**ПОСОБИЕ**

**для слушателей специальности переподготовки  
1-42 01 71 «Металлургическое производство  
и материалобработка»  
заочной формы обучения**

Гомель 2022

УДК 621.73:621.77:621.787(075.8)  
ББК 34.722.52я73  
А91

*Рекомендовано кафедрой «Металлургия и технологии обработки материалов»  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 7 от 13.06.2022 г.)*

Рецензент: декан заоч. фак. ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *Ю. А. Рудченко*

**Астапенко, И. В.**

А91 Оборудование металлургических цехов : пособие для слушателей специальности переподготовки 1-42 01 71 «Металлургическое производство и материалобработка» заоч. формы обучения / И. В. Астапенко, В. А. Петрусевич. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 148 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены теоретические материалы для курса «Оборудование металлургических цехов».

Для слушателей специальности переподготовки 1-42 01 71 «Металлургическое производство и материалобработка» Института повышения квалификации и переподготовки ГГТУ им. П. О. Сухого.

УДК 621.73:621.77:621.787(075.8)  
ББК 34.722.52я73

## Содержание

Введение. Общая характеристика оборудования металлургических цехов.....	4
Тема 1. Оборудование для производства чугуна .....	8
Тема 2. Оборудование и агрегаты сталеплавильных цехов.....	25
Тема 3. Литейно-прокатные агрегаты.....	54
Тема 4. Оборудование трубных цехов.....	64
Тема 5 Оборудование прокатных цехов .....	93
Тема 6. Оборудование волочильных и канатных цехов .....	114
Литература.....	147

## ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Металлургия – это область науки и техники, охватывающая процессы обработки руд, получения металлов и сплавов с определенными потребительскими свойствами. За последние 20 лет, несмотря на появление огромного количества альтернативных конструкционных материалов: пластмасс, композитов, стекла, сплавов на основе магния, алюминия, титана и др., черные металлы останутся основными материалами для машиностроительной индустрии и других отраслей народного хозяйства. Доля продукции, изготовленной с использованием металлов, в настоящее время составляет более 70% валового национального продукта государства.

Металлургические предприятия подразделяются на горнорудные и металлургические с полным циклом или использующие в качестве сырья лома, а также заводы по производству отдельных видов продукции (кокс, трубы, метизы, огнеупоры и т.п.).

Каждое из указанных металлургических предприятий – многофункциональное производство, в котором взаимодействуют объекты основного технологического производства, объекты подсобного и обслуживающего назначения, вспомогательные службы и системы (рисунок 1.1).

К *основным производствам (цехам)* относятся добывающие, перерабатывающие сырье и полуфабрикаты в готовую продукцию, для производства которой предназначено данное предприятие.

К *подсобным* относятся производства (цехи), изготавливающие основные и вспомогательные материалы или осуществляющие их подготовку для переработки в основных цехах предприятия. Часто указанные производства относятся к основным.

Побочными считаются производства (цехи), изготавливающие продукцию из отходов производства.

Для нормального функционирования основных, подсобных и побочных производств (цехов) на металлургических предприятиях создаются разные службы, системы и хозяйства.

*Система материально-технического снабжения и сбыта* служит для обеспечения бесперебойного снабжения производств основными и вспомогательными материалами, необходимыми для ритмичного функционирования производства и организации

своевременного сбыта продукции. Обычно организуется не для отдельного цеха, а для всего предприятия в целом.

Автоматизированная система управления производством (АСУП) – комплекс структурно-алгоритмических служб, обеспечивающих автоматический контроль и управление производством. Материальная часть АСУП включает в себя технические средства, системы (датчики, регуляторы, компьютеры и микропроцессоры, средства связи и др.), соединенные в соответствии со структурно-алгоритмической частью АСУП.

Система бытового обслуживания включает бытовые помещения, места отдыха, столовые и пункты питания, медпункты, оздоровительные комплексы и другие службы, обеспечивающие нужды трудящихся во время пребывания их на работе.

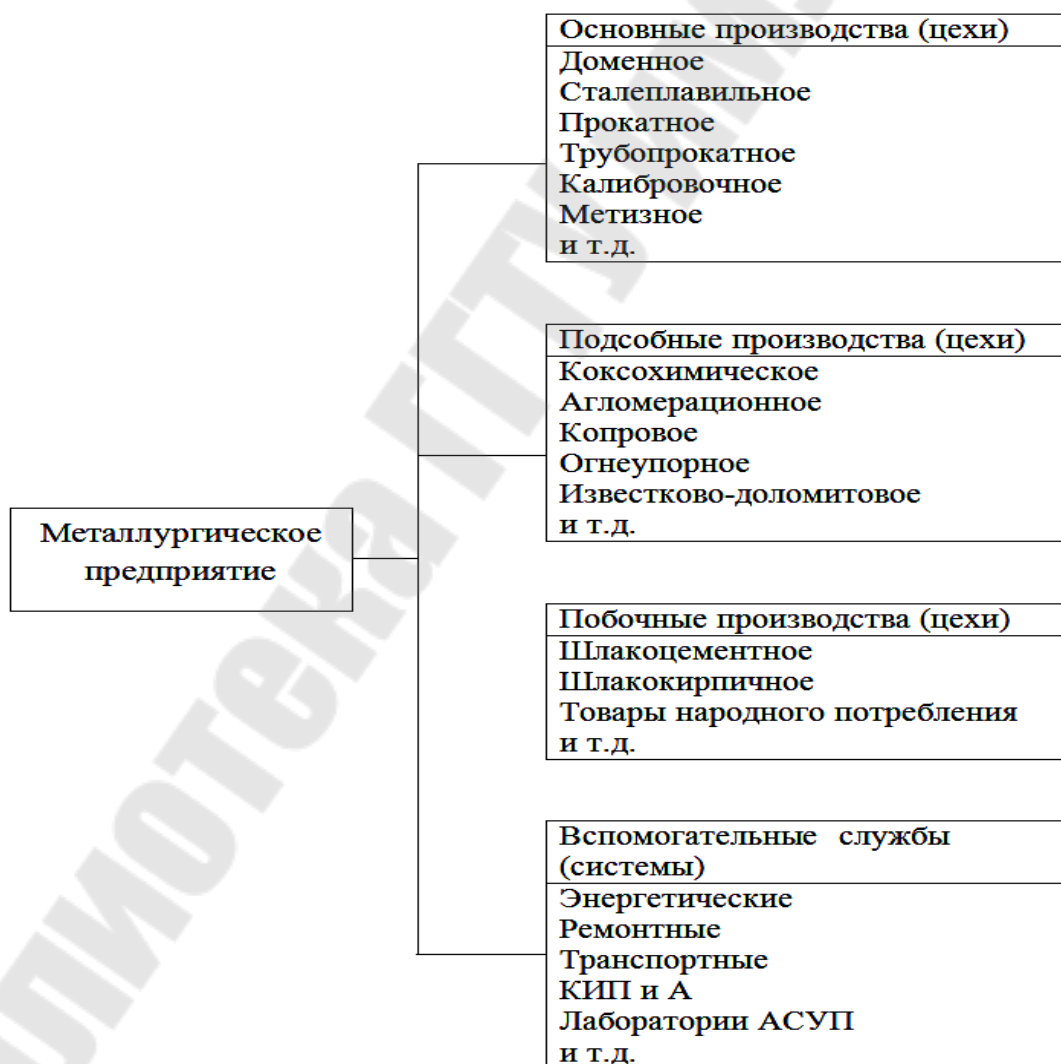


Рис. 1.1. Состав цехов, служб и систем металлургического предприятия

Система технического контроля обеспечивает контроль качества сырья, других исходных материалов, контроль технологии производства и качества готовой продукции на каждом из переделов.

Система энергоснабжения обеспечивает подачу электроэнергии, сжатого воздуха, воды, пара, природного газа, кислорода и других газов, горячей воды, специальных веществ, полей, излучений и т.п.

Система подачи сырья и материалов, отгрузки готовой продукции служит для обеспечения передачи с других предприятий или общезаводских на внутрицеховые склады исходных материалов и последующей отгрузки готовой продукции потребителю. Для этого используют железнодорожный, автомобильный, водный, трубопроводный, конвейерный и др. виды транспорта. На рисунке 1.2 показана схема, характеризующая взаимосвязь производств, служб, систем металлургического производства.

Настоящее учебное пособие рассматривает оборудование цехов черной металлургии (ЧМ). Современное производство ЧМ представляет собой сложный комплекс различных производств, базирующийся на месторождениях руд, коксующихся углей, энергетических мощностях. Оно включает следующие комбинаты, заводы, цеха:

1. шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
2. горно-обогащительные комбинаты, где готовят руды к плавке, т. е. обогащают их;
3. коксохимические заводы или цехи, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов;
4. энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, а также очистки газов металлургических производств;
5. доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов;
6. заводы для производства ферросплавов;
7. сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные) для производства стали;
8. прокатные цехи, в которых слитки стали перерабатывают в сортовой прокат - балки, рельсы, прутки, проволоку, а также лист и т. д.

*Основой современной металлургии стали является двухступенчатая схема, которая состоит из доменной выплавки чугуна и различных способов его передела в сталь. При доменной плавке, осуществляемой в доменных печах, происходит избирательное восстановление*

железа из руды, но одновременно из руды восстанавливаются также фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате из руды получают *чугун* - сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, серой и фосфором

Передел чугуна в сталь производят в конвертерах, мартеновских и электрических печах. В этих агрегатах происходит избирательное окисление примесей чугуна таким образом, что в процессе плавки они переходят в шлак и газы. В результате получают сталь заданного химического состава.

*Основной продукцией черной металлургии являются:*

1) чугуны - переделный, используемый для передела на сталь, и литейный для производства фасонных чугунных отливок на машиностроительных заводах; основное количество (до 60 %) выплавляемого чугуна - переделный;

2) ферросплавы (сплавы железа с повышенным, содержанием марганца, кремния, ванадия, титана) для производства легированных сталей;

3) стальные слитки для производства сортового проката (рельсов, балок, прутков, полос, проволоки), а также листа, труб и т. д.;

4) стальные слитки для производства крупных кованных деталей машин (валок, роторов, турбин, дисков и т. д.), называемые кузнечными слитками.

В упрощенном варианте процессы и оборудование ЧМ можно разделить на четыре металлургических передела:

1. Производство переделного чугуна из рудного сырья;

2. Производство стали;

3. Горячие процессы обработки металлов давлением (ОМД), протекающие при температурах выше температуры рекристаллизации обрабатываемых металлов;

4. Холодные процессы ОМД.

Задачей данного пособия является ознакомить слушателей переподготовки по специальности «Металлургическое производство и материалобработка» с устройством и принципом действия основного и вспомогательного оборудования указанных металлургических переделов.

## ТЕМА 1 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА

### 1.1 Материалы доменного производства

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют *руды, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.*

#### *Руды*

В природе большинство металлов находится в виде химических соединений (окислов, силикатов, карбонатов, сернистых соединений), входящих в состав различных минералов, образующих горные породы.

Промышленной рудой называют горную породу, из которой при данном уровне развития техники целесообразно извлекать металлы или их соединения. Этот уровень определяется содержанием добываемого металла в руде. Например, для железа он составляет не менее 30–50 %, для меди 3–5 %, для молибдена 0,005–0,02 %.

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы, в состав которой входят различные примеси. Например, железная руда содержит окислы железа  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeCO_3$ ,  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ , а также пустую породу, состоящую в основном из  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ . Руды обычно называют по одному или нескольким металлам, которые в них содержатся. Например, железные, медные, алюминиевые, марганцевые, медно-никелевые, железомарганцевые и т. д.

В зависимости от содержания добываемого материала, руды бывают богатые и бедные. Богатые железные руды содержат 45–50 % железа и более. Бедные руды (с малым содержанием добываемого металла) специально обрабатывают - обогащают. Обогащение состоит в удалении из руды части пустой породы. В результате получают концентрат - продукт с повышенным содержанием добываемого металла по сравнению с рудой. Использование концентрата позволяет улучшить технико-экономические показатели работы металлургических печей.

*Железные руды* содержат железо в различных соединениях.

Магнитный железняк (магнетит), содержащий магнитную окись железа  $Fe_3O_4$ , добывают в виде плотных кусковых пород (55–60 % железа). Пустая порода -  $SiO_2$ .

Красный железняк (гематит) содержит  $Fe_2O_3$  и имеет красноватый цвет (55–60 % Fe). В нем пустая порода содержится в виде  $SiO_2$  и известняка  $CaCO_3$ .



Бурый железняк содержит гидраты окислов железа  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (37–55 % Fe). Бурый железняк широко распространен в земной коре.

Шпатовые железняки содержат  $\text{FeCO}_3$  (~ 30–40 % Fe).

Марганцевые руды применяют для выплавки ферросплавов с 10–82 % Mn, а также передельных чугунов, содержащих до 1 % Mn. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов:  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MnCO}_3$  и др. В рудах обычно содержится не более 22–45 % Mn.

Бурый железняк (лимониты) представляет собой водную окись железа  $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  с содержанием железа Fe до 20–50 %. Из бурого железняка добывается до 3 % чугуна. Пустая порода – разнообразная по составу, содержит серу и фосфор. Чаше встречается лимонит -  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  с содержанием 57,14 железа и 25,3 % воды.

Шпатовый железняк (сидерит) содержит железа до 30–40 % в виде карбоната  $\text{FeCO}_3$  (углекислая соль).

Хромовые руды используют для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов. Хромовые руды содержат сложные соединения хрома – хромит ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), магнохромит ( $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$ )  $\text{Cr}_2\text{O}_4$  и др. В рудах обычно содержится около 40%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Комплексные руды используют для выплавки природно-легированных чугунов. Это железомарганцевые руды, содержащие, кроме железа, до 20% Mn, хромоникелевые руды с 37–47% Fe, до 2% Cr, до 1% Ni, железованадиевые руды, содержащие до 0,17–0,35% V.

### **Топливо**

Основными видами топлива, применяемого в металлургических печах, являются кокс, природный газ, мазут, а так - же доменный или колошниковый газ. Для доменного процесса требуется прочное, неспекающееся твердое топливо, которое служит не только горючим для нагрева шахты и ее расплавления, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды. Естественные виды топлива не обладают необходимыми свойствами, так как они спекаются и недостаточно прочны. Поэтому для доменной плавки применяют твердое топливо - кокс. Кокс получают в коксовых печах сухой перегонкой при температуре 1000...1200°C (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. Для коксования используют смесь углей, взятую в определенном соотношении. В процессе коксования угольная масса размягчается и из нее начинают выделяться газообразные продукты, а

затем она спекается в пористую массу. При выделении газов в процессе коксования эта масса растрескивается и распадается на куски. Газообразные продукты удаляются из печи и направляются в химическое отделение, где из них извлекают бензол, фенолы, каменноугольную смолу и другие ценные продукты. Процесс коксования длится 15–20 ч. Затем кокс удаляют из печи и тушат водой или инертным газом. В коксе содержится 80–88 % С; 8–12 % золы; 2–5 % влаги; 0,5–1,8 % S; 0,02–0,2 % Р и до 1,2 % летучих продуктов. Важными для доменной плавки показателями качества кокса являются зольность и содержание серы, которые должны быть минимальными. Сера – вредная примесь. В процессе плавки она может переходить в металл и ухудшать его свойства. Важное значение для хода плавки имеет размер кусков кокса - кусковатость. Размер кусков кокса должен быть 25–60 мм. Кокс должен обладать также высокой механической прочностью, чтобы не разрушаться в доменной печи под действием массы шихтовых материалов. Теплота сгорания кокса составляет обычно 29,3 МДж/кг.

При доменной плавке часть кокса заменяют природным газом, мазутом или пылевидным топливом.

Природный газ содержит 90–98 % углеводородов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) и до 1 % азота. Теплота его сгорания 33–50 МДж/кг. Мазут – тяжелый остаток, крекинга нефти. Он содержит 84–88 % С, 10–12 %  $\text{H}_2$ , небольшое количество серы и кислорода. Эти виды топлива создают восстановительную атмосферу в доменной печи и улучшают восстановление окислов железа из руды, что приводит к экономии кокса. Кроме этого, используют доменный или колошниковый газ, который является побочным продуктом доменного процесса.

### **Флюсы**

Пустая порода железных руд содержит окислы, температура плавления которых значительно выше развиваемых в доменной печи ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2040 °С, СаО – 2570 °С, MgO - 2800 °С). Однако при определенном количественном соотношении этих окислов образуются легкоплавкие соединения - шлаки, имеющие температуру плавления ниже 1300 °С и обладающие хорошей текучестью при 1450 ... 1600 °С. Для перевода пустой породы руды и золы кокса в шлаки требуемого химического состава с определенными химическими свойствами в доменную печь при плавке загружают флюсы. Шлаки, образующиеся в доменной печи, должны содержать определенное количество основных окислов (СаО, MgO). Это необходимо для удаления серы из ме-

талла, в который она может переходить из кокса и железной руды при плавке. Поэтому при выплавке чугуна в доменных печах в качестве флюса используют известняк  $\text{CaCO}_3$  или доломитизированный известняк, содержащий  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ .

Рекомендуется, чтобы в шлаке отношение содержания  $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3) \approx 1$ . Обычно пустая порода руды состоит в основном из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Суммарное содержание этих оксидов не должно превышать 1 %.

Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные окислы ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), и основным, если в его составе преобладают основные окислы ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  и т. д.).

При высоких температурах рабочего пространства плавильных печей шлаки могут взаимодействовать с футеровкой печи. Если в печь, выложенную огнеупорным материалом, в состав которого входят основные окислы (основная футеровка), вводить кислые флюсы, то взаимодействие шлака и огнеупорного материала футеровки печи приведет к ее разрушению. То же произойдет, если в печь, выложенную огнеупорными материалами, в состав которых входят кислотные окислы (кислая футеровка), вводить основные шлаки. Поэтому в печах с кислой футеровкой применяют кислые шлаки, а в печах с основной футеровкой - основные.

При плавке в печах с кислой футеровкой используют в качестве флюса кварцевый песок, состоящий в основном из  $\text{SiO}_2$ , а в печах с основной футеровкой - известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) или доломитизированный известняк, содержащий  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{MgCO}_3$ .

Шлаки, образующиеся в процессе плавки в металлургических печах, играют большую роль для получения металла с требуемыми химическим составом и свойствами.

В процессе плавки в металлургической печи образуются две несмешивающиеся среды: расплавленный металл и шлак. В соответствии с законом распределения, если какое-либо вещество растворяется в двух соприкасающихся, но не смешивающихся жидкостях, то распределение вещества между этими жидкостями происходит до установления определенного соотношения, постоянного для данной температуры. Поэтому, изменяя состав шлака, можно менять соотношение между количеством примесей, входящих в состав металла и шлака, таким образом, что нежелательные примеси будут удаляться в шлак. Удаляя шлак с поверхности металла, и, наводя новый путем подачи флюса нужного состава, можно управлять процессами удале-

ния вредных примесей из металла (серы, фосфора и т. д.). Регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическими процессами.

### ***Огнеупорные материалы***

В современных металлургических агрегатах процессы плавки происходят при высоких температурах. Поэтому внутреннюю облицовку (футеровку) металлургических печей и ковшей для разливки металла делают из огнеупорных материалов, способных выдерживать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температур, химическому воздействию шлака и печных газов. Огнеупорными называют материалы, способные противостоять высоким температурам, не расплавляясь при определенных условиях испытания. Огнеупорность материала определяется в °С.

Огнеупорные материалы применяют в виде кирпичей разных размеров и форм, а также порошков и растворов, необходимых для заполнения швов между кирпичами при кладке печей.

По химическим свойствам огнеупорные материалы подразделяют на *кислые, основные и нейтральные*. Материалы, содержащие большое количество кремнезема  $\text{SiO}_2$ , называют кислыми (динасовые, кварцеглинистые); содержащие основные окислы ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) - основными (магнезитовые, магнезитохромитовые, доломитовые); содержащие большое количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - нейтральными (хромомагнезитовые, высоко глиноземные, шамотные).

Если рабочее пространство плавильной печи выложено из кислых огнеупорных материалов, то печь называют кислой, а если из основных - основной.

*Кварцевый песок* (не менее 95 %  $\text{SiO}_2$ ) - кислый огнеупорный материал. Его применяют для набивки и наварки подин кислых сталеплавильных печей. Из кварцевого песка и кварцита изготавливают динасовый кирпич, содержащий 93–95 %  $\text{SiO}_2$ . Огнеупорность динаса составляет 1690–1720 °С. Этим кирпичом футеруют кислые мартеновские и электросталеплавильные печи.

*Магнезитовый металлургический порошок* содержит 85–88 %  $\text{MgO}$ . Его применяют для набивки и наварки подин основных сталеплавильных печей. Из него изготавливают магнезитовый кирпич (86–90 %  $\text{MgO}$ ). Огнеупорность такого кирпича более 2000 °С. Его применяют для кладки пода и стен основных мартеновских и электросталеплавильных печей. Он обладает высокой термостойкостью. Магнезитохромитовый кирпич содержит 60 %  $\text{MgO}$  и 8–13 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Обладает огнеупорностью (более 2000°С), термостойкостью и шлакоустойчивостью. Применяется для кладки сводов мартеновских печей.

*Доломитовый кирпич* содержит 32–36 % MgO и 50–56 % CaO; применяют вместе с магнезитовым порошком для наварки подин и откосов основных сталеплавильных печей. Смолодоломитовый кирпич изготавливают из доломитового порошка с каменноугольной смолой, используют для футеровки кислородных конвертеров. Смолодоломитомагнезитовый кирпич содержит 32–50 % MgO, 38–54 % CaO и до 4 % SiO<sub>2</sub>; применяют для футеровок кислородных конвертеров. Хромомагнезитовый кирпич содержит 42 % MgO и 15–20 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Огнеупорность его более 2000 °С, применяют в мартеновских печах для кладки шлаковиков.

*Шамотный кирпич* - нейтральный материал. Содержит 50–60 % SiO<sub>2</sub> и 30–42 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Огнеупорность его 1580–1730 °С, применяют для футеровки доменных печей, воздухонагревателей, различных ковшей и т. д.

*Высокоглиноземистый кирпич* содержит 72–95 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и имеет огнеупорность 1820–1920 °С.

*Углеродистый кирпич* и блоки содержат до 92 % С. Обладают высокой огнеупорностью. Применяют для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

## **1.2 Оборудование для подготовки шихтовых материалов**

Производительность доменной печи, расход кокса и качество получаемого чугуна зависят от состава исходных материалов для плавки - железной руды, кокса и флюсов. При увеличении содержания железа в руде, применении кокса определенной и равномерной кусковатости повышается производительность доменной печи, снижается расход кокса. Установлено, что в шихтовых материалах для доменной плавки оптимальное содержание железа должно быть 60–61%. Однако содержание железа в добываемых рудах значительно ниже; кроме того, многие из них содержат вредные примеси, ухудшающие качество чугуна и стали, например серу, фосфор. Поэтому перед плавкой железные руды подвергают специальной подготовке, цель которой состоит в увеличении содержания железа в шихте, повышении ее однородности по кусковатости и химическому составу. Основные методы подготовки руды к плавке следующие: дробление и сортировка по крупности; обогащение; окускование. Метод подготов-

ки добываемой руды зависит от ее качества.

*Дробление и сортировка* руд по крупности необходимы для получения кусков руды определенной величины, оптимальной для плавки. Куски руды дробят и сортируют по крупности на специальных агрегатах – дробилках и классификаторах.

*Руды обогащают* для повышения содержания железа в шихте. В результате обогащения руду подразделяют на *концентрат* с высоким (более 60 %) содержанием железа и *хвосты* - отходы с небольшим содержанием металла. Способы обогащения руд основаны на использовании различия физических свойств минералов, входящих в состав руды: плотностей ее составляющие, магнитной восприимчивости, физико - химических свойств поверхностей минералов.

*Промывка руды* водой позволяет отделить плотные составляющие рудных минералов от пустой рыхлой породы (песка, глины).

*Гравитация* (отсадка) основана на отделении руды от легкой пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита, на котором лежит руда. При этом легкие зерна пустой породы вытесняются в верхний слой и уносятся водой, а тяжелые, содержащие рудные минералы, опускаются вниз. Применяют также *гравитационное обогащение в тяжелых средах*: руду погружают в жидкость, плотность которой выше плотности пустой породы. Рудный минерал осаждается на дно, а пустая порода всплывает и удаляется.

*Магнитная сепарация* основана на различии магнитных свойств железосодержащих минералов и частиц пустой породы. Измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы, отделяя их от пустой породы. Этим способом обогащают магнетитовые руды. Для обогащения бурых железняков их подвергают магнетизирующему обжигу при 600–800 °С в печах с слабовосстановительной атмосферой. В результате слабомагнитная окись железа  $Fe_2O_3$  переходит в магнитную закись - окись  $Fe_3O_4$ . После такого обжига руду направляют на магнитную сепарацию.

*Окускование* производят для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров. Используют два способа окускования: агломерацию и окатывание.

*Агломерация* заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды мелких фракций (40–50 %), известняка (15–20 %), возврата мелкого агломерата (20–30 %), коксовой мелочи (4–6 %), влаги (6–9 %) на специальной машине для улучшения их металлургических

свойств. Эти материалы смешиваются с измельченным твердым топливом (коксом, углем), увлажняются и подаются в агломерационную машину. Спекание выполняют на агломерационных машинах при 1300...1500 °С. В процессе спекания из руды удаляются вредные примеси (сера, частично мышьяк), карбонаты разлагаются и получается кусковой пористый офлюсованный материал - *агломерат*.

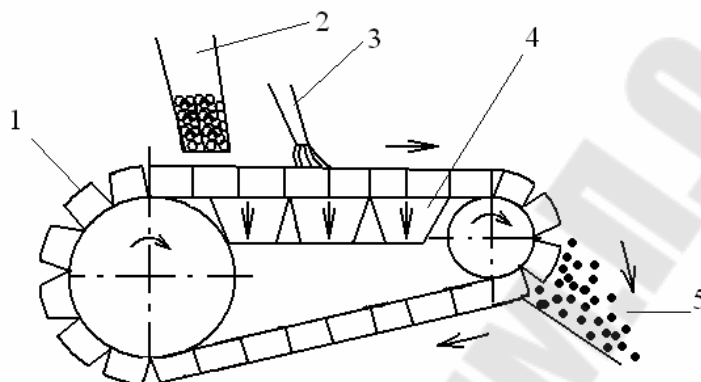


Рис. 1.2. Схема агломерационной машины:

1 – паллеты; 2 – шихтовый бункер; 3 – горелка; 4 – вакуум-камеры (экспаустеры); 5 – агломерат

Агломерационная машина ленточного типа состоит из большого числа паллетспекательных тележек с отверстиями в днище,двигающихся по направляющим рельсам (рис. 1.2). В загруженной паллете после зажигания газовыми горелками начинается горение топлива, причем фронт горения распространяется сверху вниз. Воздух просасывается сквозь пош шихты благодаря действию специальных вакуумных устройств, называемых экспаустерами. Температура в слое шихты достигает 1300...1600 °С.

В результате восстановления оксидов железа в присутствии кремнезема образуется фаялит  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  по реакции:



В зоне горения фаялит, имеющий температуру плавления 1209°С, плавится и смачивает зерна шихты, благодаря чему при охлаждении образуется твердая пористая масса – агломерат. Агломерат имеет высокую пористость (до 50 %) и хорошую восстановимость. Кроме того, в процессе спекания почти полностью выжигается сера, которая удаляется в виде сернистого газа. В металлургии обычно ис-

пользуют офлюсованный агломерат, для чего в шихту дополнительно вводят известняк.

*Окатывание* применяют для обработки тонко измельченных концентратов. Шихта, состоящая из измельченных концентратов, флюса, топлива, увлажняется и при обработке во вращающихся барабанах, тарельчатых чашах (грануляторах) приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Окатыши высушивают и обжигают при 1200...1350°C на специальных машинах (рисунок 3).

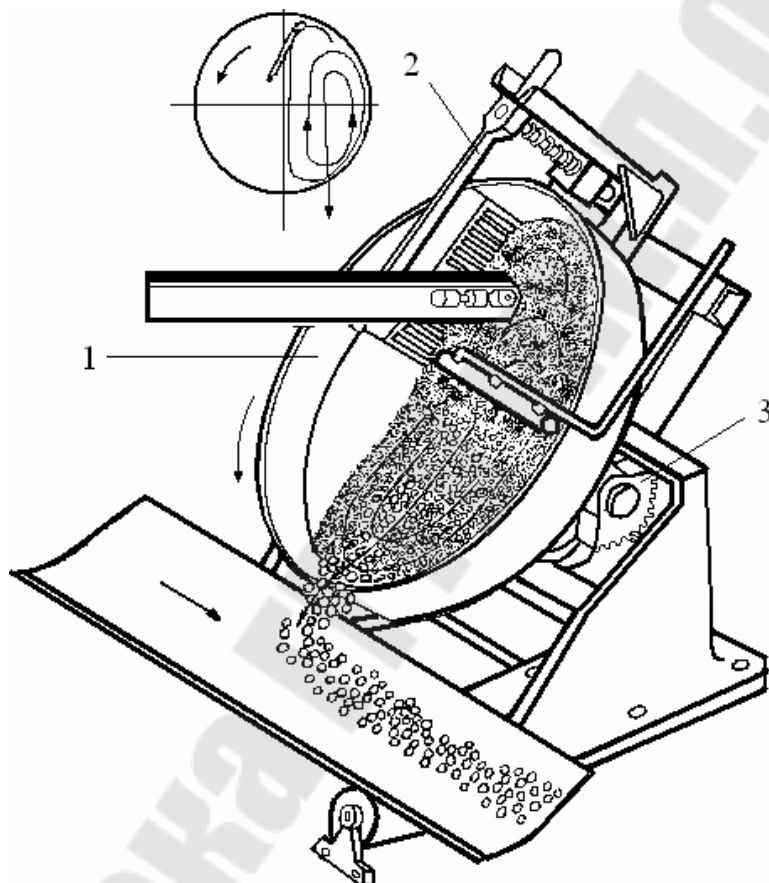


Рис. 1.3. Схема образования окатышей в грануляторе:  
1—чаша; 2 – скребки; 3 – Механизм изменения угла наклона чаши

После обжига окатыши приобретают высокую прочность при достаточной пористости. Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса - известняка в доменную печь при плавке, так как флюс в необходимом количестве входит в их состав. Это улучшает работу доменной печи, повышает ее производительность, снижает расход кокса. Шихта состоит из тонкоизмельченного концентрата (меньше 0,5 мм), из известняка (флюса) и возврата (отбракованных окатышей). Для лучшего окатывания шихту увлажняют



(8–10 %) и в ее состав добавляют связующее – бентонитовую глину (до 1,5 %). Образование окатышей диаметром 25–30 мм происходит в грануляторе – вращающейся со скоростью 6–9 об/мин неглубокой чаше. Далее окатыши подвергают сушке при температуре 200–400 °С, а затем обжигу при 1300–1400 °С, после чего они приобретают высокую прочность.

### 1.3 Оборудование доменной плавки чугуна

Чугун выплавляют в вертикальных печах шахтного типа – доменных почках. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении окислов железа, входящих в состав руды, которую загружают в печь, окисью углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимися при сгорании топлива в печи.

Изготовление передельного чугуна, являющегося основным сырьем для выплавки стали и получения различных марок литейного чугуна, производится в доменной печи. Основным компонентом, из которого получается чугун, является железная руда, состоящая из оксидов железа разного типа ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Получение железа, которое является основой чугуна, происходит в результате реакции восстановления оксидов железа продуктами неполного сгорания кокса ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}$  – атомарный). Расход кокса составляет 2–15 % от веса шихты.

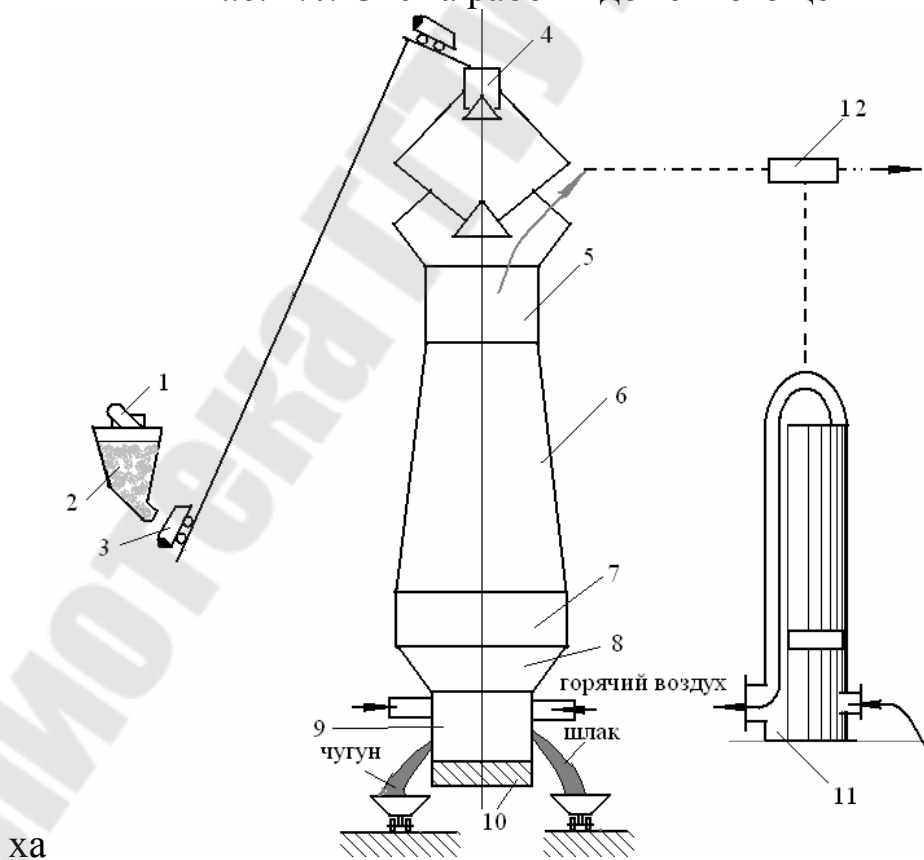
Шихта для доменной печи: железные руды, топливо (кокс) и флюс, которым является известняк. Через фурмы подается воздушно-кислородная смесь, подогретая до 450–550 °С. Для ускорения процесса могут подаваться природный газ и кислород. Шлак, получающийся в результате расплавления флюса ( $\text{CaO}$ ), защищает капли восстановленного железа от окисления продуваемым воздухом. Они стекают в горн по кускам шихты, насыщаясь при этом углеродом и вредными примесями. Из горна чугун периодически сливается после вскрытия нижней лётки. После слива чугуна лётка забивается огнеупорным составом и процесс продолжается. Непрерывная выплавка чугуна может продолжаться несколько месяцев, т. к. процесс постоянно поддерживается загрузкой сверху руды, кокса и флюса. Длительность процесса ограничивается необходимостью периодического ремонта огнеупорного покрытия печи (футеровки).

Шихтовые материалы поступают в бункера, расположенные на рудном дворе: офлюсованный агломерат с агломерационной фабрики, а кокс – от коксовых батарей коксохимического завода. Из бункеров шихтовые материалы подаются в вагон-весы 1 (рис. 1.4), на кото-

рых взвешивают определенные порции шихты. Из вагона-весов 2 кокс и агломерат передаются в вагонетку 3 скипового подъемника. Скиповой подъемник представляет собой наклонный рельсовый мост, по которому движутся две вагонетки. Скип поднимается стальным канатом до верхней точки рельсового моста и опрокидывается. Через загрузочное устройство (засыпной аппарат) 4 шихта попадает в доменную печь. Печь состоит из колошника 5, шахты 6, распара 7, заплечиков 8 и горна 9.

Две скиповые вагонетки с помощью лебедки передвигаются по наклонному мосту к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпаяют шихту в приемную воронку распределителя шихты. При опускании малого конуса засыпного аппарата шихта попадает в чашу а при опускании большого конуса - в доменную печь. Такая последовательность работы механизмов засыпного аппарата необходима для предотвращения выхода газов из доменной печи в атмосферу.

Рис. 1.4. Схема работы доменного це-



ха

Для равномерного распределения шихты в доменной печи малый конус и приемная воронка после загрузки очередной порции материалов поворачиваются на угол, кратный  $60^\circ$ . Все механизмы засыпного аппарата и скипового подъемника Агломерат, руду, флюс и кокс, поступающие в печь в определенном соотношении, называют шихтой.

Доменные печи, как и все шахтные печи, работают по принципу противотока. Сверху сходят шихтовые материалы, а снизу им навстречу движутся газы, образующиеся в процессе горения топлива.

В процессе работы печи шихтовые материалы постепенно опускаются вниз, а через загрузочное устройство в печь подаются новые порции шихтовых материалов в таком количестве, чтобы весь полезный объем печи был заполнен.

*Полезный объем печи* - это объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Современные доменные печи имеют полезный объем 2000...5000 м<sup>3</sup>. Полезная высота доменной печи достигает 35 м. В верхней части горна находятся фурменные устройства через которые в печь поступают нагретый воздух, необходимый для горения кокса, и газообразное топливо, в некоторых случаях жидкое или пылевидное топливо. Предварительный нагрев воздуха необходим для уменьшения потерь теплоты в печи. Воздух поступает в доменную печь из воздухонагревателей. Для нагрева воздуха применяют воздухонагреватели регенеративного типа. Внутри воздухонагревателя имеется камера сгорания и насадка занимающая основной объем воздухонагревателя.

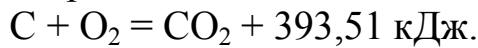
Насадка выложена из огнеупорных кирпичей так, что между ними образуются вертикальные каналы. В нижнюю часть камеры сгорания к горелке подается очищенный от пыли колошниковый газ, который сгорает и образует горячие газы. Горячие газы, проходя через насадку, нагревают ее и удаляются из воздухонагревателя через дымовую трубу. Затем подача газа к горелке прекращается, и по трубопроводу через насадку пропускается холодный воздух, подаваемый турбовоз-духодувной машиной. Доменная печь имеет несколько воздухонагревателей: в то время как в одних насадка нагревается горячими газами, в других она отдает теплоту холодному воздуху, нагревая его. По охлаждению нагретой насадки воздухом нагреватели переключаются. Воздух, проходя через насадку воздухо - нагревателя, нагревается до 1000...1200 °С и поступает к фурменному устройству

доменной печи, а оттуда в ее рабочее пространство.

В процессе выплавки чугуна в домне происходит ряд химико-термических процессов по всей высоте печи (рис.1.5).

### Горение топлива

Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорает:



При высоких температурах и в присутствии твердого углерода кокса двуокись углерода неустойчива и частично переходит в окись углерода;



Одновременно, на некотором расстоянии от фурм, идет реакция неполного горения углерода кокса:

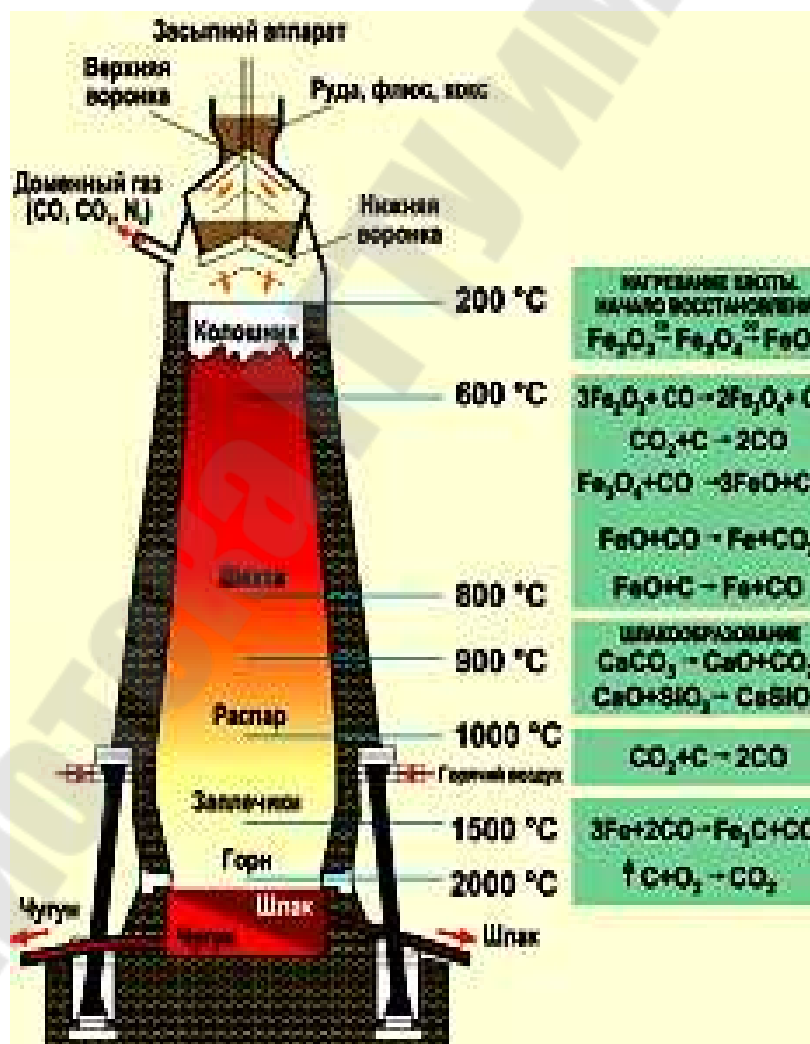
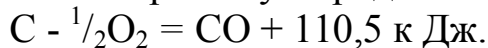


Рис. 1.5. Схема химико-термических процессов в доменной печи

В результате горения кокса в доменной печи выделяется теплота и образуется газовый поток, содержащий CO, CO<sub>2</sub> и другие газы. При этом в печи немного выше уровня фурм температура становится более 2000° С. Горячие газы, поднимаясь вверх, отдают свою теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 400...300 °С у колошника. В зоне печи, где температура газон достигает 700 ... 450 °С, часть окиси углерода разлагается с образованием сажистого углерода, оседающего на шихтовых материалах:



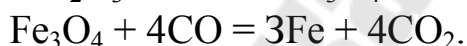
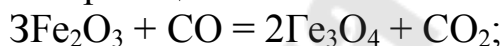
Остальная часть газа, состоящего в основном из CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (колошниковый газ), отводится из печи по трубам и после очистки используется как топливо для воздухонагревателей.

Шихтовые материалы (агломерат, кокс) опускаются навстречу потоку газов и нагреваются. В результате в них происходит целый ряд химических превращений: удаляется влага, из топлива выделяются летучие вещества, а при прогреве шихты до температуры ~ 570 °С начинается основной процесс - восстановление окислов железа, содержащихся в агломерате.

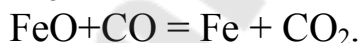
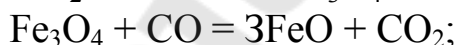
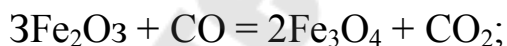
#### ***Восстановление окислов железа в доменной печи***

Этот процесс протекает в результате взаимодействия окислов железа с окисью углерода и твердым углеродом кокса, а также водородом. Восстановление твердым углеродом называют *прямым*, а газами - *косвенным*.

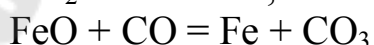
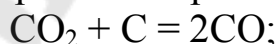
При температурах до 570 °С восстановление окиси железа протекает по реакциям

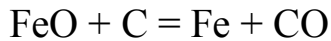


При более высоких температурах (750...900 °С) окислы железа восстанавливаются наиболее интенсивно:



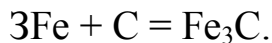
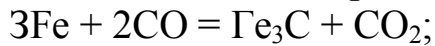
При этих температурах из руды, находящейся в нижней зоне шахты доменной печи, образуется твердое губчатое железо. Некоторая часть закиси железа опускается до уровня распара и заплечиков, где восстанавливается твердым углеродом кокса в результате двух одновременно протекающих реакций:





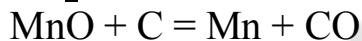
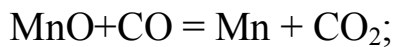
В реакциях восстановления железа участвуют также сажастый углерод и водород, особенно при введении в доменную печь природного газа.

По мере опускания шихта достигает зоны в печи, где температура составляет 1000 ... 1100 °С. При этих температурах восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с окисью углерода, коксом и сажастым углеродом, интенсивно науглероживается благодаря способности железа в твердом состоянии растворять углерод:



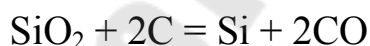
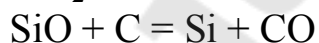
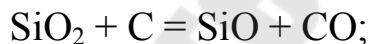
При насыщении углеродом температура плавления железа понижается и на уровне распара и заплечиков оно расплавляется. Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4 % и более), марганцем, кремнием, фосфором, которые восстанавливаются из руды, а также серой, содержащейся в коксе. Эти процессы протекают следующим образом.

*Марганец* содержится в руде в виде  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ . Эти соединения легко восстанавливаются до  $\text{MnO}$ . При температуре более 1000 °С часть  $\text{MnO}$  восстанавливается твердым углеродом по реакциям:



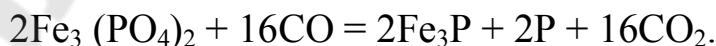
Одновременно марганец взаимодействует с твердым углеродом и образует карбид  $\text{Mn}_3\text{C}$ , повышая содержание углерода в сплаве. Другая часть  $\text{MnO}$  входит в состав шлака.

*Кремний*, содержащийся в пустой породе руды в виде  $\text{SiO}_2$ , температуре выше 1100 °С также частично восстанавливается твердым углеродом:



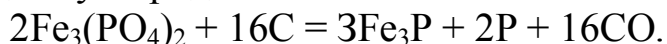
Образовавшийся кремний растворяется в железе. Другая часть  $\text{SiO}_2$  также входит в состав шлака.

*Фосфор* содержится в руде в виде соединений  $(\text{FeO})_3\text{P}_2\text{O}_5$  и  $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5$ . Частично фосфат железа восстанавливается окисью углерода:

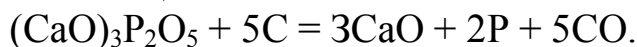


При температурах более 1000° С восстановление идет за счет

твердого углерода:

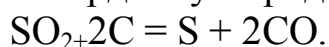


При температурах выше 1300 °С фосфор восстанавливается из фосфата кальция:

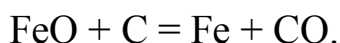
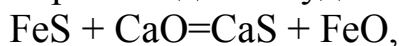


Образовавшийся фосфид железа ( $\text{Fe}_3\text{P}$ ) и фосфор полностью растворяются в железе и входят в состав чугуна.

Сера присутствует в коксе и руде в виде органической серы и соединений  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{CaSO}_4$ . Сера летуча и поэтому часть ее удаляется с газом при нагреве шихты в печи. Сера из кокса окисляется у фурм кислородом дутья до  $\text{SO}_2$  и, поднимаясь с газами, восстанавливается твердым углеродом:



При этом часть серы в виде  $\delta$  и  $\text{FeS}$  растворяется в чугуне. Сера является вредной примесью и ухудшает качество чугуна. Для удаления серы стремятся повысить содержание  $\text{CaO}$  в шлаке. При этом часть серы в виде  $\text{CaS}$  удаляется в шлак по реакциям



Таким образом, в результате процессов восстановления окислов железа, части окислов марганца и кремния, фосфатов и сернистых соединений, растворения в железе  $\text{C}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{S}$  в печи образуется чугун. В нижней части печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. В условиях доменного процесса окислы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , содержащиеся в пустой породе руды, полностью переходят в шлак. В шлаке содержится также часть невосстановившихся окислов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{CaS}$ . Шлак образуется постепенно, его состав изменяется по мере отекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяющихся шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

По мере скопления чугуна и шлака их выпускают из печи. Чугун выпускают через 3–4 ч, а шлак через 1,0–1,5 ч. Чугун выпускают через чугунную летку, а шлак - через шлаковую летку. Чугунную летку открывают бурильной машиной, а после выпуска чугуна закрывают огнеупорной массой. Чугун и шлак сливают по желобам, проложенным по литейному двору, в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши, установленные на железнодорожных платформах. Емкость чугуновозных ковшей 90–140 т. В них чугун транспортируют в кислород-

но-конвертерные или мартеновские цехи для передела в сталь. Чугун, не используемый в жидком виде, поступает на разливочные машины. Из ковша чугун через передаточный желоб заполняет металлические формы-изложницы разливочной машины и затвердевает в них в виде чушек-слитков массой 45 кг.

Часто жидкий шлак из доменной печи не сливают в шлаковозные чаши, а для удобства дальнейшего использования подвергают мокрой грануляции: на него направляют струю воды, под действием которой он рассыпается на мелкие гранулы.

В доменных печах получают два жидких продукта - чугун и шлак, а также колошниковый газ.

Чугун - основной продукт доменной плавки. В доменных печах получают чугун различного химического состава в зависимости от его назначения:

1) *Передельный чугун* выплавляют для передела его в сталь в конвертерах или мартеновских печах. Он содержит 4,0...4,4 % С; до 0,6...0,8 % Si; до 0,25...1,0 % Mn; 0,15...0,3 % P и 0,03...0,07 % S. Передельный чугун некоторых марок, предназначенный для передела в сталь в конвертерах, имеет пониженное содержание фосфора (до 0,07 %).

2) *Литейный чугун* используют для переплава его на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок. Он содержит повышенное количество кремния (до 2,75...3,25 %). Кроме чугуна, в доменной печи выплавляют ферросплавы.

3) *Доменные ферросплавы* - сплавы железа с кремнием, марганцем и другими металлами. Их применяют для раскисления и легирования стали. К ним относятся: доменный ферросилиций с 9...13 % Si и до 3 % Mn; доменный ферромарганец с 70... 75 % Mn и до 2 % Si; зеркальный чугун с 10 ... 25 % Mn и до 2 % Si.

4) *Побочными продуктами* доменной плавки являются шлак и колошниковый газ, также используемые в производстве. Из шлака производят шлаковату, шлакоблоки, цемент, а колошниковый газ после очистки от пыли используют как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в доменную печь, а также в цехах металлургических заводов.



## ТЕМА 2 ОБОРУДОВАНИЕ И АГРЕГАТЫ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

Стали — железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 1,5 % углерода. Кроме углерода, сталь всегда содержит в небольших количествах постоянные примеси: марганец (до 0,8 %), кремний (до 0,4 %), фосфор (до 0,07 %), серу (до 0,06 %), что связано с особенностями технологии ее выплавки. В технике широко применяют также легированные стали, в состав которых для улучшения качества дополнительно вводят хром, никель и другие элементы. Существует свыше 1500 марок углеродистых и легированных сталей — конструкционных, инструментальных, нержавеющей и т. д.

### *Современные способы получения стали*

Для массового производства стали в современной металлургии основными исходными материалами являются передельный чугун и стальной скрап (лом). По химическому составу сталь отличается от передельного чугуна меньшим содержанием углерода, марганца, кремния и других элементов. Поэтому выплавка стали — передел чугуна (или же чугуна и скрапа) в сталь — сводится к проведению окислительной плавки для удаления избытка углерода, марганца и других примесей. При выплавке легированных сталей в их состав вводят соответствующие элементы.

*Первыми способами получения* стали из чугуна были кричный способ (XII—XIII вв.) и затем пудлинговый способ (конец XVIII в.). Продуктом плавки были крицы — небольшие куски — комья сварившихся между собой зерен металла. Получение плотного металла — сварочного железа — происходило при последующей ковке или прокатке. Во второй половине XIX в. появились и получили наибольшее развитие высокопроизводительные способы: бессемеровский (1856 г.) и томасовский процессы (1878 г.). Их недостатками являются, невысокое качество стали и ограниченность сырьевой базы, так как можно было использовать лишь некоторые чугуны (с определенным содержанием Si, S, P). Поэтому примерно с начала нынешнего столетия основную массу стали выплавляли мартеновским способом (появился в 1864 г.) — менее производительным, но позволяющим выплавлять более качественную сталь. Кроме того, для выплавки мартеновской стали, используется наиболее распространенный чугун (непригодный для бессемеровского и томасовского передела) и огромное количество вторичного металла — стального скрапа.

В 50-х годах XX в. появился новый, прогрессивный способ выплавки стали — кислородно-конверторный процесс. Благодаря значительным технико-экономическим преимуществам этот способ быстро получил очень широкое применение, вытесняя мартеновский способ в массовом производстве стали.

В настоящее время в мировом производстве около 40 % стали выплавляют кислородно-конверторным способом и около 40 % мартеновским способом; при этом за последнее время доля кислородно-конверторной стали непрерывно возрастает, а доля мартеновской стали сокращается.

*Выплавка качественных сталей* в электрических дуговых и индукционных печах началась в конце XIX–начале XX вв. Электросталь стоит дороже, но превосходит по качеству кислородно-конверторную и мартеновскую сталь; ее производство – около 20 % от всей массы стали – непрерывно возрастает. В связи с возрастающими требованиями к стали все большее применение получает внепечное вакуумирование, рафинирование синтетическими шлаками в ковше и другие новые прогрессивные технологические способы.

*Сталь особо высокого качества* выплавляют в вакуумных электрических печах, а также путем электрошлакового, плазменного переплава и других новейших методов.

### ***Сущность процесса получения стали***

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Сравнения химических составов передельного чугуна и стали показывает, что содержание углерода и примесей в стали существенно ниже, чем в чугуне (см. таблицу).

Таким образом, для передела чугуна в сталь необходимо снизить содержание углерода и примесей. Поэтому *сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь* является снижение содержания углерода и примесей путем их *избирательного окисления* и перевода в шлак и газы в процессе плавки. В результате окислительных реакций, осуществляемых *на первом этапе* передела чугуна в сталь, углерод соединяется с кислородом, образуя CO, который удаляется в атмосферу печи. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют окислы или другие соединения, нерастворимые или малорастворимые в металле (SiO<sub>2</sub>, MnO, CaS и др.), которые в процессе плавки частично удаляются в шлак.

Однако в полной мере окислить примеси не удастся, так как, несмотря на их значительно большее сродство к кислороду, чем у железа, по мере снижения содержания примесей в соответствии с законом действующих масс начинает окисляться железо. Окислы железа растворяются в железе, насыщая металл кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением -ковки, прокатки, так как в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии.

Состав передельного чугуна и низкоуглеродистой стали

Материал	Состав, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
Передельный чугун	4,0 – 4,4	0,76 – 1,26	До 1,75	0,15 – 0,3	0,03 – 0,07
Низкоуглеродистая сталь	0,14 – 0,22	0,12 – 0,3	0,4 – 0,65	0,05	0,055

Для уменьшения содержания кислорода в стали в процессе плавки ее раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом стали, эти элементы образуют нерастворимые окислы, частично всплывающие в шлак. Для раскисления стали используют ферросплавы - ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Раскисление является *завершающим* этапом выплавки стали.

Чугун переделывают в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах. Основными из них являются кислородные конвертеры, мартеновские печи и другие электропечи. В 1974г. мировое производство стали составило около 700 млн.т в год. В нашей стране в 1975г. Около половины всего объема стали выплавлено в мартеновских печах, около трети в кислородных конвертерах и остальное в дуговых электропечах. Соотношение между способами производства стали непрерывно изменяется. Объем производства стали, выплавляемой в высокопроизводительных агрегатах- кислородных конвертерах и крупных электропечах, возрастает. А стали, выплавляемой в мартеновских печах, постепенно уменьшается.

## 2.1 Производство стали в конвертерах

Сущность кислородно-конверторного процесса заключается в том, что налитый в плавильный агрегат (конвертор) расплавленный чугун продувают струей кислорода сверху. Углерод, кремний и другие примеси окисляются и тем самым чугун переделывается в сталь.

Первые опыты по разработке этого способа осуществил в 1933—1934 гг. А. И. Мозговой. В промышленности кислородно-конверторный передел впервые начали применять в 1952—1953 гг. на заводах Австрии в Линце и Донавице. Благодаря технико-экономическим преимуществам этот способ получил очень быстрое и широкое распространение и является основным направлением развития в массовом производстве стали. Доля кислородно-конверторной стали, составляла в 1960 г. около 4 %, в 1965 г. — около 25 %, в настоящее время — около 4 % мировой выплавки стали.

### *Кислородно-конвертерный процесс*

Это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

### *Кислородный конвертер*

Устройство кислородного конвертера показано на рисунке 2.1. Его грушевидный корпус (кожух) 3 сварен из листовой стали толщиной до 110 мм; внутри он футерован основными огнеупорными материалами 4 общей толщиной до 1000 мм, емкостью 130...350 т жидкого чугуна.

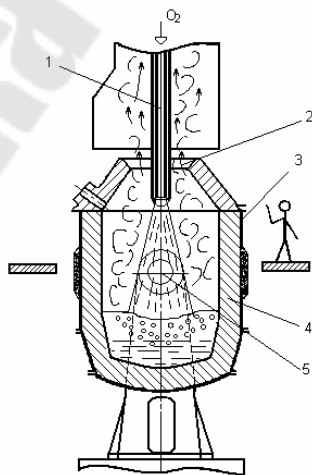


Рис. 2.1. Схема устройства кислородного конвертера

В процессе работы конвертер можно поворачивать на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси на  $360^\circ$  для завалки скрапа, заливки чугуна

на, слива стали, шлака и т.д. Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер (9...14 ат) подают с помощью водоохлаждаемой фурмы 1, которую вводят в конвертер через его горловину 2. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертера. Ее поднимают специальным механизмом, заблокированным с механизмом вращения конвертера так, что конвертер нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма.

#### *Шихтовые материалы*

Таковыми материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат. Чугун для переработки в кислородных конвертерах должен содержать 3,7...4,4 % С; 0,7...1,1 % Mn; 0,4...0,8 % Si; 0,03...0,08 % S; <0,15...0,3 % P. Известь необходима для наводки шлака. Она должна содержать более 90 % CaO и минимальное количество SiO<sub>2</sub> и серы. Боксит и плавиковый шпат применяют для разжижения шлака.

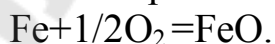
#### *Процесс плавки*

После выпуска очередной плавки конвертер наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом. Затем в конвертер заливают чугун при температуре 1250...1400 °С из чугуновозных ковшей. После этого конвертер поворачивают в вертикальное положение, внутрь его вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду).

Расстояние головки фурмы от уровня металла в конвертере 0,7...0,3 м, в зависимости от емкости конвертера. Струи кислорода, поступающие под большим давлением в конвертер, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400 °С.

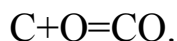
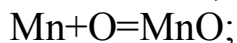
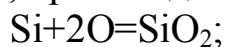
#### *Окислительный период*

В кислородном конвертере составляющие чугуна окисляются газообразным кислородом закиси железа (FeO), растворяющимся в металле и шлаке при продувке. В зоне контакта кислородной струи с чугуном в первую очередь окисляется железо, так как его концентрация во много раз выше концентрации примесей:

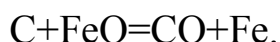
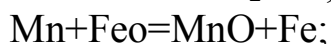
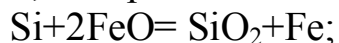


Закись железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом:  $\text{FeO}=\text{Fe} + \text{O}$ .

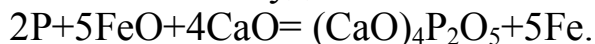
Окисление примесей чугуна кислородом, растворенным в металле, происходит по реакциям



Часть примесей окисляется на границе металл- шлак окислами железа, содержащимися в шлаке:



В кислородном конвертере благодаря присутствию шлаков с большим содержанием  $\text{CaO}$  и  $\text{Fe}$ , интенсивному перемешиванию металла и шлака легко удаляется из металла фосфор:



Образовавшийся фосфат кальция удаляется в шлак. В чугунах перерабатываемых в конвертерах, должно быть не более 0,15 % P. При повышенном (до 0,3 %) содержании фосфора необходимо для более полного его удаления производить промежуточный слив шлака и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

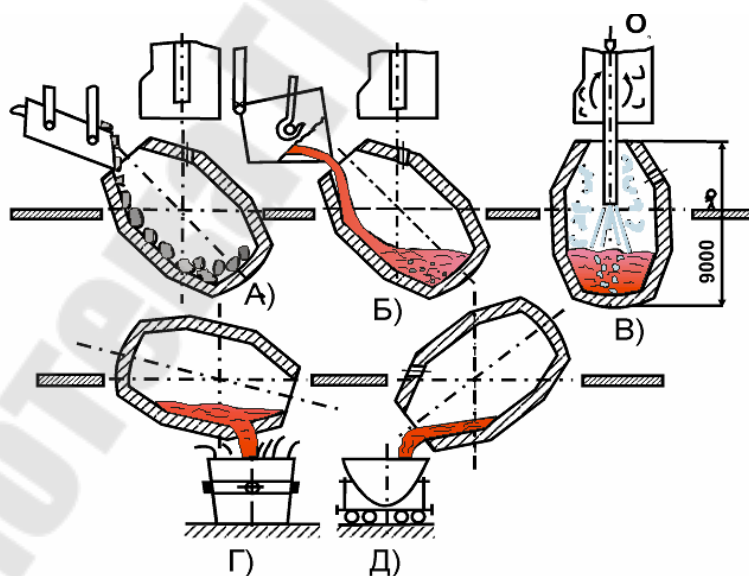
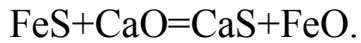


Рис. 2.2. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах: а-загрузка скрапа; б-заливка жидкого чугуна; в- продувка кислородом; г- выпуск стали в ковш; д-слив шлака в шлаковую чашу  
Удаление серы из металла происходит по реакции



Вместе с тем высокое содержание в шлаке (до 7...20 %) затрудняет протекание реакции удаления серы из металла. Поэтому для передела в сталь в кислородных конвертерах применяют чугуны с ограниченным содержанием серы (до 0,07 %).

Подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали. Для этого осуществляют автоматический контроль химического состава металла по ходу плавки с использованием ЭВМ. После этого конвертер поворачивают и производят выпуск стали в ковш.

#### *Раскисление стали*

При выпуске стали из конвертера в ковш ее раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Затем из конвертера сливают шлак.

В кислородных конвертерах трудно выплавлять легированные стали, содержащие легкоокисляющиеся легирующие элементы. Поэтому в кислородных конвертерах выплавляют низколегированные стали, содержащие до 2...3 % легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в ковш, предварительно расплавив их в электропечи, или легирующие ферросплавы вводят в ковш перед выпуском в него стали. Окисление примесей чугуна в кислородном конвертере протекает очень быстро: плавка в конвертерах емкостью 130...300 т заканчивается через 20...25 мин. Поэтому кислородно - конвертерный процесс производительнее плавки стали в мартеновских печах: производительность конвертера емкостью 300 т достигает 400...500 т/ч стали, а мартеновских печей и электропечей - не более 80 т/ч. Вследствие этого производство стали в нашей стране в основном увеличивается за счет ввода в строй новых кислородно-конвертерных цехов.

## **2.2 Производство стали в электропечах**

Электроплавильные печи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- 1) в электропечах можно получить высокую температуру;
- 2) можно создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу или вакуум;
- 3) в этих печах можно выплавлять сталь и сплавы любого состава, более полно раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений—продуктов раскисления.

Поэтому электропечи используют для выплавки конструкционных сталей ответственного назначения, высоколегированных, инструментальных, коррозионно-стойких (нержавеющих) и других специальных сталей и сплавов.

Для плавки стали используются дуговыми и индукционные электропечи.

### 2.2.1 Дуговая электросталеплавильная печь

В этих печах в качестве источника теплоты используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой. Дуговая электросталеплавильная печь (рис. 2.3) питается трехфазным переменным током и имеет три цилиндрических электрода 9, изготовленных из графитированной массы.

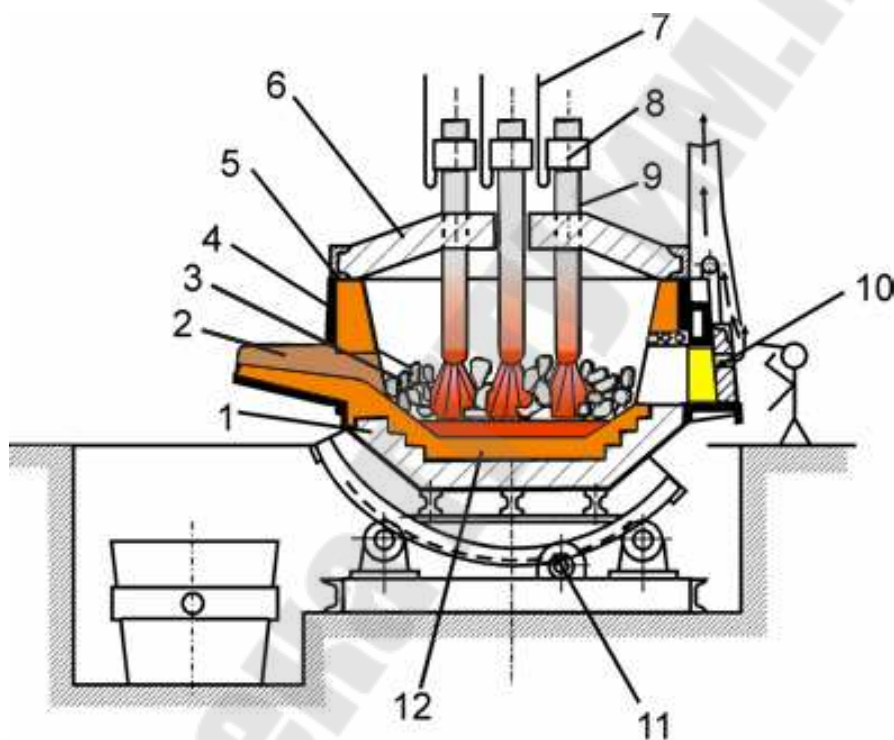


Рис.2.3. Схема дуговой электрической плавильной печи

Электрический ток от трансформатора гибкими кабелями 7 и медными шинами подводится к электрододержателям 8, а через них к электродам 9. Между электродами и металлической шихтой 4 возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту, которая передается металлу и шлаку излучением. Рабочее напряжение 180...600 В, сила тока 1...10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически путем вертикального перемещения электродов. Печь имеет стальной сварной кожух 3. Кожух печи изнутри



футерован теплоизоляционным и огнеупорным кирпичом 7, который может быть основным (магнезитовый, магнезитохромитовый) или кислым (динасовый). Подина 12 печи набивается огнеупорной массой. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6, изготавливаемым также из огнеупорного кирпича и имеющим отверстия для прохода электродов. В стенках печи имеются рабочее окно 10 для управления ходом плавки и летка для выпуска готовой стали по желобу 2 в ковш.

Печь загружают при снятом своде. Механизмом 11 печь может наклоняться в сторону загрузочного окна и летки. Емкость дуговых электропечей 0,5–400 т. В металлургических цехах обычно используют дуговые электропечи с основной футеровкой, а в литейных цехах – с кислой.

*Основная дуговая печь.* Применяют два вида технологии плавки в дуговой основной печи: на шихте из легированных отходов (методом переплава) и на углеродистой шихте (с окислением примесей).

*Плавку на шихте из легированных отходов* с низким содержанием фосфора проводят без окисления примесей. Шихта для такой плавки, кроме пониженного содержания фосфора, должна иметь меньшее, чем в выплавляемой стали, количество марганца и кремния. По сути это переплав. Однако в процессе плавки за счет кислорода некоторые примеси (алюминия, титана, кремния, марганца, хрома) окисляются. Кроме того, шихта может содержать окислы. Поэтому после расплавления шихты металл раскисляют, удаляют серу, наводят основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Раскисляют ферросилицием, алюминием, молотым коксом. При этом окислы легирующих элементов восстанавливаются и переходят из шлака в металл. Таким способом плавки получают легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

*Плавку на углеродистой шихте* чаще применяют для производства конструкционных углеродистых сталей. Эту плавку проводят за два периода: окислительный и восстановительный. После заправки печи, удаления остатков металла и шлака предыдущей плавки, исправления поврежденных мест футеровки в печь загружают шихту: стальной лом (до 90 %), чушковый передельный чугун (до 10 %), электродный бой или кокс для науглероживания металла и 2...3 % извести. По окончании завалки шихты электроды опускают вниз и включают ток; шихта под электродами плавится, металл накапливает-

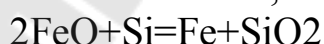
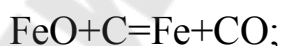
ся на подине печи. Во время плавления шихты начинается *окислительный период плавки*: за счет кислорода воздуха, окислов шихты и окалина окисляется кремний, марганец, углерод, железо. Вместе с окисью кальция, содержащейся в извести, окислы этих элементов образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла.

После нагрева металла и шлака до 1500...1540 °С в печь загружают руду и известь. Содержащийся в руде кислород интенсивно окисляет углерод и вызывает кипение ванны жидкого металла за счет выделяющихся пузырьков окиси углерода. Шлак вспенивается, уровень его повышается; для выпуска шлака печь наклоняют в сторону рабочего окна и он стекает в шлаковую чашу. Кипение металла ускоряет нагрев ванны, удаление из металла газов, неметаллических включений, способствует удалению фосфора. Шлак удаляют, руду и известь добавляют 2...3 раза. В результате содержание фосфора в металле снижается до 0,01 % и одновременно за счет образования окиси углерода при кипении уменьшается и содержание углерода. Когда содержание углерода становится меньше заданного на 0,1 %, кипение прекращают и полностью удаляют из печи шлак. Этим заканчивается окислительный период плавки.

Восстановительный период плавки включает:

- раскисление металла;
- удаление серы;
- доведение химического состава до заданного.

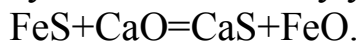
После удаления окислительного шлака в печь подают ферромарганец в количестве, обеспечивающем заданное содержание марганца в стали, а также производят науглероживание, если выплавляют высокоуглеродистые стали (до 1,5 % С). Затем в печь загружают флюс, состоящий из извести, плавикового шпата и шамотного боя. После расплавления флюсов и образования шлака в печь вводят раскислительную смесь, состоящую из извести, плавикового шпата, молотого кокса и ферросилиция. Молотый кокс и ферросилиций вводят в порошкообразном виде. Они очень медленно проникают через слой шлака. В шлаке восстанавливается закись железа:



При этом содержание закиси железа в шлаке снижается и она из металла согласно закону распределения начинает переходить в шлак. Этот процесс называют диффузионным раскислением стали. Раскис-

лительную смесь вводят в печь несколько раз. По мере раскисления и понижения содержания FeO цвет шлака изменяется и он становится почти белым. Раскисление под белым шлаком длится 30...60 мин.

Во время восстановительного периода сера удаляется из металла, что объясняется высоким (до 55...60 %) содержанием CaO в белом шлаке и низким (менее 0,5 %) содержанием FeO. Это способствует интенсивному удалению серы из металла:



По ходу восстановительного периода берут пробы для определения химического состава металла. При необходимости в печь вводят ферросплавы для достижения заданного химического состава металла. Когда достигнуты заданные состав металла и температура, выполняют конечное раскисление стали алюминием и силикокальцием. После этого следует выпуск металла из печи в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. Порядок ввода определяется сродством легирующих элементов к кислороду. Никель, молибден обладают меньшим сродством к кислороду, чем железо, и их вводят в период плавления или в окислительный период. Хром легко окисляется и его вводят в восстановительный период; кремний, ванадий, титан – перед выпуском металла из печи в ковш, так как они легко окисляются.

*Технико-экономические показатели.* Эти показатели плавки в дуговых печах зависят от емкости печи и технологии плавки. Расход электроэнергии на 1 т стали зависит от емкости печи. С увеличением емкости печи расход электроэнергии на 1 т выплавленной стали уменьшается. Например, для печи емкостью 25 т он составляет 750 кВт\*ч, а для печи емкостью 100 т – 575 кВт\*ч. Расход графитированных электродов составляет 6–9 кг/т выплавленной стали.

Технико-экономические показатели работы дуговых печей и качество металла повышаются за счет интенсификации плавки, увеличения емкости печи, мощности трансформаторов, механизации загрузки шихты, применения электромагнитного перемешивания металла. Значительной эффективности можно достигнуть при выплавке легированных сталей, применяя дуплекс-процесс: выплавка стали в основном кислородном конвертере, а рафинирование и доводка по химическому составу в электропечи. Эффективным является применение кислорода для продувки ванны стали в окислительный период, что интенсифицирует процесс плавки, увеличивает на 15...20 % про-

изводительность печи, снижает расход электроэнергии и экономит легирующие добавки.

### **2.2.2 Электроиндукционная печь**

Главной частью печи является индуктор 1, выполненный в виде многовитковой спирали, изготовленной из медной водоохлаждаемой трубки (рис. 2.4). Набивной тигель 2 из огнеупорного порошка закреплен в каркасе 3 и установлен на плите 6 из огнеупорного бетона.

Выпуск стали производится через сливной носок 4 при повороте печи вместе с каркасом относительно оси 5. Принцип работы индукционных печей основан на поглощении электромагнитной энергии материалом шихты, которая загружена в тигель, помещенный в переменное электрическое вихревое поле. Под действием этого поля, согласно закону Ома, возникают токи проводимости (вихревые токи). Нагрев и расплавление происходят в результате необратимого перехода энергии индуктированного переменного электрического поля в тепловую. Электрическая энергия индуктора передается к шихте бесконтактно, а тепло выделяется непосредственно в шихте, что существенно повышает эффективность работы этих печей по сравнению с печами с внешними источниками нагрева.

Основные преимущества индукционных плавильных печей перед дуговыми электропечами следующие:

1) угар легирующих элементов, присутствующих в шихте и ферросплавах, незначительный;

2) хорошее перемешивание жидкого металла способствует выравниванию температуры по всему объему ванны и обеспечивает большую однородность химического состава стали;

3) нет науглероживания металла от электродов. Это позволяет переплавлять высоколегированные отходы без добавок низкоуглеродистой заготовки;

4) высокая вязкость шлаков, их малая жидкоподвижность способствуют защите металла от проникновения газов (водорода и азота) из атмосферы;

5) компактность самой печи позволяет помещать ее в закрытые емкости, где возможно создавать не только необходимую атмосферу, но и вакуум, т. е. можно вести плавку и разливку металла под вакуумом. Недостатков у индукционных печей немного:

1) трудность проведения процессов десульфурации и дефосфорации из-за высокой вязкости шлака и его низкой температуры;

2) относительно невысокая стойкость футеровки.

3) для плавки стали в индукционных печах требуется относительно чистая по сере и фосфору шихта.

Выплавку ведут чаще всего методом переплава. Состав шихты должен обеспечивать после расплавления содержание всех элементов, близкое к заданному в готовом металле. В этих печах выплавляют все марки сталей, в том числе легированные и высоколегированные с практически полным сохранением дефицитных дорогостоящих легирующих элементов (никель, молибден, вольфрам и др.).

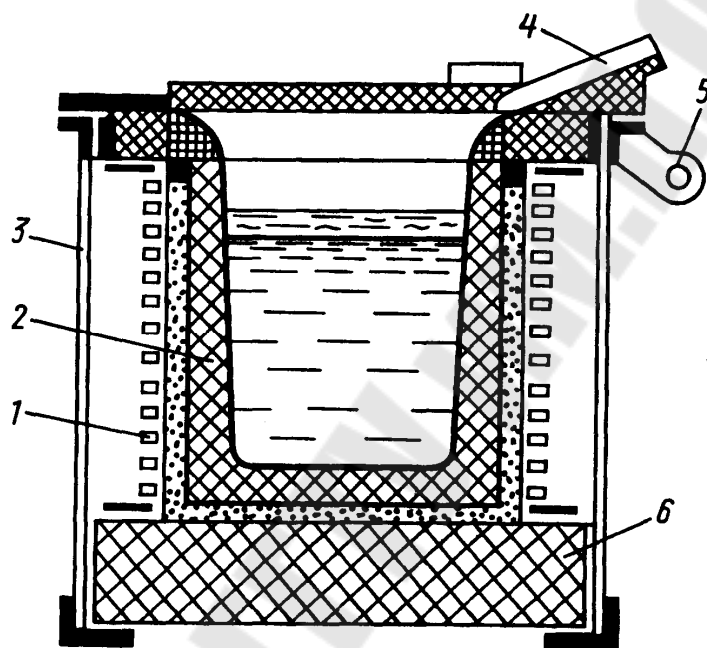


Рис. 2.4. Схема индукционной тигельной электрической плавильной печи

Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т около 45 мин. Расход электроэнергии на 1 т стали составляет 600...700 кВт·ч.

*Вакуумная плавка* в индукционных печах позволяет получать сталь и сплавы с очень малым содержанием газов, неметаллических включений, легировать сталь и сплавы любыми элементами. При вакуумной индукционной плавке индуктор с тиглем, дозатор шихты и изложницы помещают в вакуумные камеры. Здесь плавят металл, вводят легирующие добавки, раскислители с помощью специальных механизмов без нарушения вакуума в камере. Металл в изложницы разливают в вакууме или инертных газах под избыточным давлением.

Заливку под давлением инертного газа производят для повышения плотности слитков.

### **2.3 Оборудование внепечной обработки жидкой стали**

Неотъемлемой составной частью современного сталеплавильного производства на металлургических комбинатах и в составе мини-заводов является оборудование для внепечной обработки жидкой стали. Его применение наряду с повышением качества металла позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели сталеплавильных агрегатов и машин непрерывного литья заготовок. Для решения технологических задач разработаны и применяются на практике разнообразные способы и агрегаты как при атмосферном давлении, так и с применением вакуума. Среди многочисленных методов внепечной обработки наиболее употребимы в электросталеплавильных цехах обработка металла *алюминиевой и порошковой проволокой, рафинирование стали при атмосферном давлении в агрегатах ковше-печь с электродуговым нагревом, а также вакуумирование, как правило ковшового типа.*

Первоначально все процессы по доводке стали до нужного химического состава (операции легирования, раскисления, рафинирования, модифицирования) и температуры выполняли непосредственно в сталеплавильном агрегате. Это приводило к увеличению времени плавки (соответственно снижению производительности агрегата) и большому угару легирующих элементов (которые могут быть очень дорогими). Постепенно вышеуказанные операции стали переносить в сталеразливочный ковш и специальные агрегаты.

Подвергать внепечной обработке можно сталь, выплавленную любым способом. Таким образом, внепечная обработка стали позволяет:

- увеличить производительность основного сталеплавильного агрегата за счет выноса операций раскисления, рафинирования и легирования в агрегат внепечной обработки;
- повысить качество металла за счет удаления вредных газовых примесей и неметаллических включений;
- повысить эффективность процессов раскисления и десульфурации;
- обеспечить более точное соблюдение химического состава металла;
- получать металл с принципиально новыми свойствами;

- обеспечить необходимую температуру металла перед разливкой;

- уменьшить угар дорогих легирующих элементов.

Металлургические процессы, обеспечивающие получение указанных результатов, протекают эффективнее при выпечной обработке, чем в сталеплавильных печах благодаря ряду особенностей:

- создание наиболее благоприятных термодинамических условий для развития данного процесса, в частности наводка шлака, обеспечивающего более глубокую десульфурацию;

- увеличение скорости взаимодействия с газовой фазой или шлаком вследствие дробления металла на порции (капли) с развитой контактной поверхностью;

- повышение интенсивности массопереноса в металле вследствие его дробления на порции (капли) и, следовательно, увеличение градиента концентраций растворённых в нём элементов.

Методы выпечной обработки стали могут быть условно разделены на простые (обработка одним способом) и комбинированные (обработка металла несколькими способами одновременно). К простым методам относятся:

- обработка металла вакуумом;

- продувка инертным газом;

- обработка металла синтетическим шлаком, жидкими и твёрдыми шлаковыми смесями;

- введение реагентов вглубь металла.

*Основными недостатками* перечисленных простых способов обработки металла являются: необходимость перегрева жидкого металла в плавильном агрегате для компенсации падения температуры металла при обработке в ковше и ограниченность воздействия на металл.

Лучшие результаты воздействия на качество металла достигаются при использовании комбинированных или комплексных способов, когда в одном или нескольких последовательно расположенных агрегатах осуществляется ряд операций. Выбор необходимого оборудования определяется той или иной технологией обработки металла.

Выпечная обработка металла комбинированными методами может производиться:

- в обычном сталеразливочном ковше;

- в сталеразливочном ковше, оборудованном для вдувания газа или газопорошковой струи снизу через смонтированные в днище устройства;
- в установке ковш-печь с крышкой (сводом), через которую опущены электроды, нагревающие металл в процессе его обработки;
- в агрегате типа конвертера с продувкой металла кислородом, аргоном;
- в агрегате типа конвертера, снабжённом оборудованием для вакуумирования расплава и т. д.

Рассмотрим различные способы внепечной обработки стали в отдельности.

#### *Продувка стали инертным газом в ковше*

Продувку металла инертным газом осуществляют или отдельно в сталеразливочном ковше или применяют как операцию, сопутствующую другим процессам. В качестве инертного газа используют в основном аргон, реже азот. Внутри таких пузырей вовлекаются вредные газовые примеси, а к их поверхности прилипают неметаллические включения, которые выносятся на поверхность металла. Также при продувке инертным газом происходит интенсивное перемешивание металла и усреднение его состава. Если требуется понизить содержание углерода в металле, то к инертному газу можно добавить кислород.

Продувку металла осуществляют путем ввода инертного газа различными способами в нижнюю часть ковша (рис. 2.5).

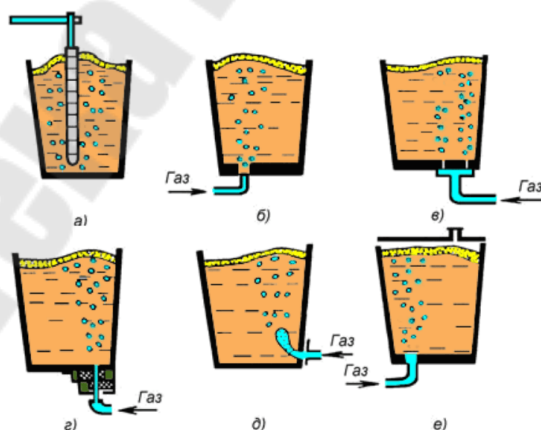


Рис. 2.5. Способы продувки металла в ковше:

- а – через погружаемую фурму; б – через пористый блок;
- в – через пористые швы в днище; г – через шиберный затвор;
- д – через боковую стенку ковша; е – способ SAB



Расход инертного газа поддерживают в пределах  $0,5 \dots 2,5 \text{ м}^3/\text{т}$  в зависимости от необходимой степени обработки. Совмещение продувки инертным газом с выдержкой в условиях разрежения (вакуумированием) позволяет уменьшить расход инертного газа. Применение синтетического шлака при продувке инертным газом способствует более эффективному удалению из металла вредных примесей и неметаллических включений.

#### *Обработка синтетическими шлаками*

Для интенсификации и повышения полноты перехода в шлак серы, фосфора и кислорода применяют перемешивание металла с жидким синтетическим шлаком (рис. 2.6).

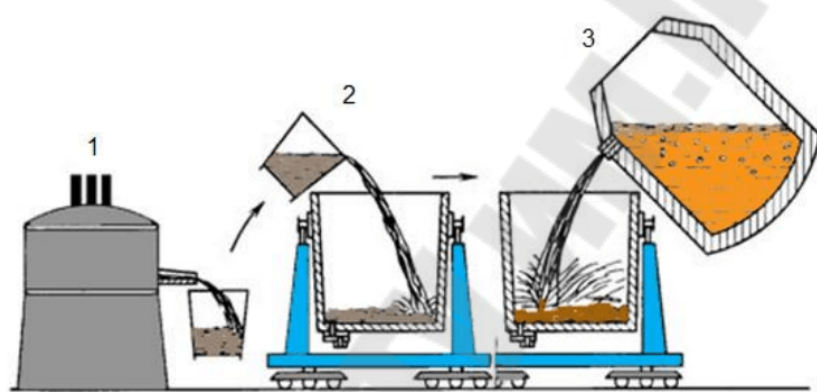


Рис. 2.6. Технологическая схема обработки стали жидкими синтетическими шлаками: 1 – дуговая электропечь для выплавки синтетического шлака; 2 – заливка синтетического шлака в сталеразливочный ковш; 3 – выпуск стали

Для снижения содержания серы в металле и его раскисления применяют известково-глиноземистый шлак, для дефосфорации — известково-железистый, а для снижения содержания кислорода и оксидных включений — кислый.

Обработку ведут в ковше во время выпуска металла из сталеплавильного агрегата, одновременно из шлакового ковша подавая струю жидкого шлака на струю жидкой стали. Синтетический шлак предварительно выплавляют и нагревают до температуры  $\sim 1600 \text{ }^\circ\text{C}$  в электродуговой печи и перед обработкой металла выпускают в шлаковый ковш.

Расход синтетического шлака не превышает 6 % от массы металла. Возможно и совмещение обработки синтетическим шлаком с продувкой инертным газом или вакуумированием.

### Агрегат «печь-ковш»

Наиболее эффективным приемом внепечной обработки стали является комплексная обработка расплава в сталеразливочном ковше с применением мощного высокотемпературного источника локального нагрева, который обеспечивает непрерывную компенсацию тепловых потерь (рис.2.7). Агрегаты, обеспечивающие нагрев и перемешивание стали в ковше, ее рафинирование и корректировку химического состава, получили название «печь-ковш» (англ. ladle-furnace (LD)).

Печь-ковш представляет собой установку, состоящую из крышки для ковша с отверстиями, через которые установлены три электрода. Под крышку помещается сталеразливочный ковш с металлом после выпуска из сталеплавильной печи. Кроме того, в состав установки «печь-ковш» обычно также входят средства для перемешивания металла инертным газом, система подачи ферросплавов и материалов для рафинирования стали в ковше. Ввод порошковой проволоки в расплав осуществляется по направляющей трубе с помощью трайбаппарата, состоящего из подающего и разматывающего устройств.

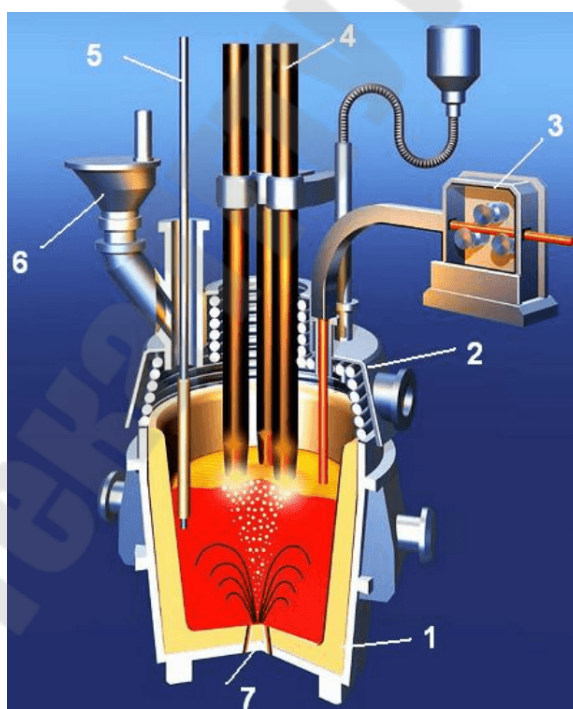


Рис. 2.7. Схема установки «печь-ковш»: 1 – ковш; 2 – крышка-свод; 3 – трайб-аппарат для подачи проволоки; 4 – электроды; 5 – фурма для вдувания порошка силикокальция в струе аргона; 6 – устройство для подачи сыпучих ферросплавов и флюсов; 7 – пористая пробка для подачи аргона

### *Обработка стали вакуумом*

Вакуумирование металла осуществляют основным образом в сталеразливочном ковше. Лучшие результаты при этом получаются при вакуумировании нераскисленного металла. За счет создания разрежения над поверхностью металла происходит интенсивное выделение пузырьков растворенных в нем газов — водорода, азота и монооксида углерода. Также к поверхности этих пузырьков прилипают неметаллические включения, которые выводятся на поверхность и переходят в шлак. Кроме того, растворенный в металле кислород взаимодействует с углеродом, поэтому этот процесс используют и для получения безуглеродистых коррозионностойких сталей.

После интенсивной дегазации в металл сверху из помещенного в вакуумной камере бункера вводят раскислители и легирующие добавки.

Различают две разновидности процесса:

- VD (Vacuum Degassing) — вакуумная дегазация металла;
- VOD (Vacuum Oxygen Decarburization) — вакуумно-кислородное обезуглероживание, при котором для удаления углерода из металла используют и продувку кислородом.

Однако в последнее время все большее распространение получают комбинированные агрегаты, сочетающие в себе обе разновидности.

В настоящее время наиболее распространенными способами обработки металла вакуумом в ковше являются:

- помещение ковша с металлом в вакуумную камеру, последующее перемешивание металла инертным газом и ввод раскислителей из бункера, данный метод часто называют «ковшовым вакуумированием» (рис. 2.8, а), аналогичным образом происходит и обезуглероживание металла (рис. 2.8, б);

- вакуумирование при переливе из ковша в ковш или из ковша в изложницу. Поскольку обработке вакуумом подвергается «струя» металла, данный метод иногда называют «струйным вакуумированием» или «вакуумированием струи» (рис. 2.8, в);

- циркуляционное вакуумирование, когда металл под действием вакуума всасывается в специальную камеру, где и происходит удаление вредных примесей (рис. 2.8, г);

- порционное вакуумирование, при котором металл закачивается в камеру вакуумирования отдельными порциями (рис. 2.8, д).

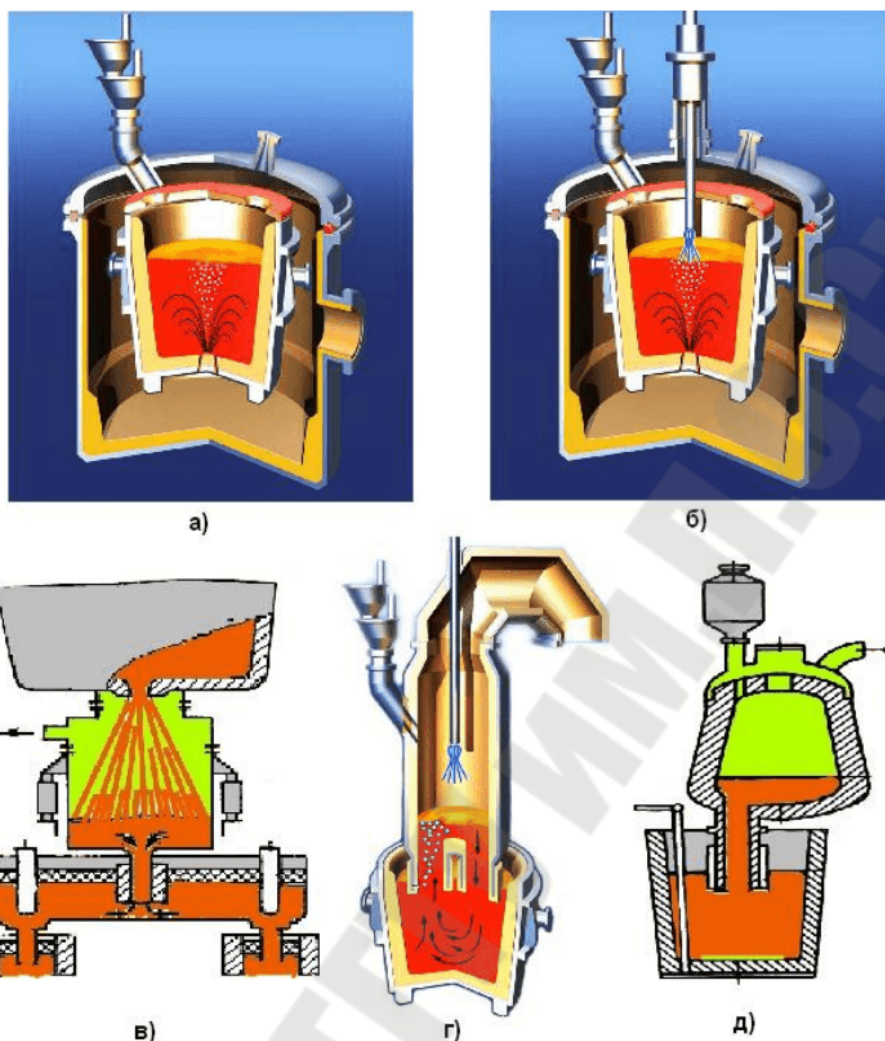


Рис. 2.8. Схемы вакуумирования стали:

- а – камерное вакуумирование; б – обезуглероживание стали;  
 в – струйное вакуумирование; г) циркуляционное вакуумирование;  
 д – порционное вакуумирование

#### 2.4 Машины непрерывного литья заготовок

МНЛЗ (машина непрерывного литья заготовок) или УНРС (установка непрерывной разливки стали) — металлургический агрегат для разливки стали. Первоначальное название «УНРС» впоследствии было практически вытеснено аббревиатурой «МНЛЗ», поскольку на ней, в зависимости от конструкции и назначения, можно отливать не только сталь.

##### *Принцип действия*

Жидкая сталь непрерывно заливается в водоохлаждаемую форму, называемую кристаллизатором. Перед началом заливки в кристаллизатор вводится специальное устройство с замковым захватом

(«затравка»), как дно для первой порции металла. После затвердевания металла затравка вытягивается из кристаллизатора, увлекая за собой формирующийся слиток. Поступление жидкого металла продолжается и слиток непрерывно наращивается. В кристаллизаторе затвердевают лишь поверхностные слои металла, образуя твёрдую оболочку слитка, сохраняющего жидкую фазу по центральной оси. Поэтому за кристаллизатором располагают зону вторичного охлаждения, называемую также второй зоной кристаллизации. В этой зоне в результате форсированного поверхностного охлаждения заготовка затвердевает по всему сечению. Этот процесс слиткообразования является способом получения слитков неограниченной длины. В этом случае по сравнению с разливкой в изложницы резко уменьшаются потери металла на обрезку концов слитков, которые, например, при литье спокойной стали составляют 15—25 %. Кроме того, благодаря непрерывности литья и кристаллизации, достигается полная равномерность структуры слитка по всей его длине.

Во время кристаллизации формирующийся слиток металла постоянно перемещается вверх-вниз относительно кристаллизатора посредством небольших цилиндров, расположенных в ручье. Это позволяет уменьшить количество трещин — дефектов. Вокруг каждого ручья создаётся сильное электромагнитное поле, которое позволяет формировать надлежащую кристаллическую структуру заготовки.

#### *Классификация*

По геометрии кристаллизатора

- вертикальные;
- криволинейные;
- радиальные;
- горизонтальные.

По количеству ручьёв

- 1—8-ручьевые

По геометрии слитка

- слябовые
- блюмовые
- сортовые<sup>1</sup>

#### *Оборудование и процесс*

МНЛЗ (рис.2.9) включает в себя сталеразливочный 1 и промежуточный 2 ковши, водоохлаждаемый кристаллизатор 3, систему вторичного охлаждения, устройства для вытягивания заготовки из кристаллизатора, оборудования для резки и перемещения слитка.

После выпуска металла из сталеплавильного агрегата, доводки сплава по химическому составу и температуре на агрегате ковш-печь (АКП), сталеразливочный ковш перемещается литейным краном на поворотный стенд МНЛЗ. Поворотный стенд – вращающаяся конструкция с двумя позициями для установки ковшей. После опустошения сталеразливочного ковша в промежуточный ковш в процессе разлива, стенд поворачивается на  $180^\circ$  и полный, ранее установленный ковш переводится в позицию разлива в промежуточный ковш. Одновременно опустошённый ковш заменяется полным. Таким образом обеспечивается наличие расплавленного металла в промежуточном ковше.

После открытия шибера ковша 1 жидкий металл начинает поступать в промежуточный ковш 2. Промежуточный ковш является своего рода буфером между сталеразливочным ковшом и кристаллизатором 3. Уровень металла перед стопором разлива регулируется заслонкой 4. После открытия стопора 5 (стопорный механизм позволяет плавно регулировать поток металла в кристаллизатор, поддерживая в нём постоянный уровень) из промежуточного ковша металл поступает в кристаллизатор. Кристаллизатор представляет собой водоохлаждаемую конструкцию, которая при помощи сервоклапана совершает вертикальные колебания, для предотвращения застывания металла на стенках кристаллизатора и предотвращения образования трещин.

В зависимости от конструкции МНЛЗ размеры кристаллизатора могут варьироваться. В кристаллизаторе происходит застывание стенок формируемого слитка (например, сляба). Далее, под воздействием тянущих роликов 7 сляб попадает в зону вторичного охлаждения (криволинейный участок ручья), где на металл через форсунки разбрызгивается вода. После выхода непрерывной заготовки на горизонтальный участок роликового ручья, её разрезают на куски (резка кислородным газовым резаком, дисковой пилой или ножницами). Газовый резак и пила работают по «летающему» принципу, – в процессе резания перемещается со скоростью, равной скорости движения заготовки, после завершения резания – быстро перемещается в исходную позицию начала резания для выполнения следующей фазы цикла резания. Некоторые установки непрерывной разлива не имеют непрерывно действующих режущих устройств, в таких установках дальнейшая обработка непрерывной заготовки совмещается с последующей обработкой, например, установками волочения проволоки, либо,

при небольших размерах сечения (10—30 мм), сворачивается в бухты для последующей переработки.

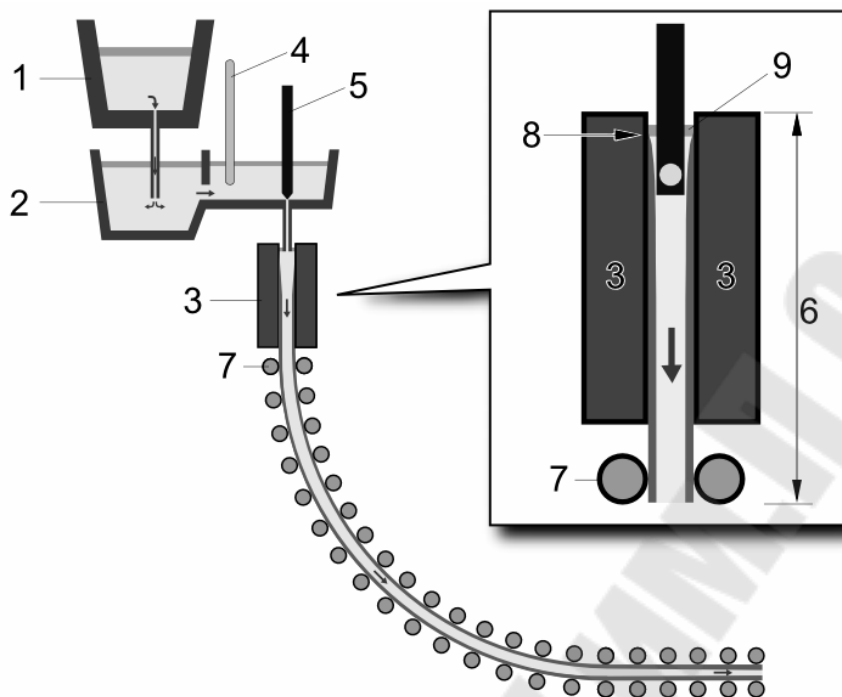


Рис. 2.9. Схема установки непрерывного литья:

- 1 – ковш подачи жидкого металла; 2 – промежуточный ковш;
- 3 – кристаллизатор; 4 – заслонка; 5 – стопор;
- 6 – зона кристаллизации; 7 – тянущие ролики.
- 8 – зона начала кристаллизации.
- 9 – подача охлаждающей воды.

#### *Автоматический контроль на МНЛЗ*

В работе МНЛЗ выделяют ряд основных автоматически контролируемых величин. В их число входят следующие величины, (в скобках указаны пределы измерения):

- температура металла в сталеразливочном ковше (1500 – 1700°C);
- температура металла в промежуточном ковше (1500 – 1700°C);
- температура воды в кристаллизаторе (10 – 60 °C);
- температура поверхности слитка в зоне вторичного охлаждения (700—1300°C);
- уровень металла в промежуточном ковше (0 – 800 мм);
- уровень металла в кристаллизаторе (0 – 180 мм);

- расход охлаждающей воды в кристаллизатор и на секции вторичного охлаждения;
- усилие вытягивания слитка;
- скорость разливки;
- длина слитка.

#### *Преимущества МНЛЗ перед разливкой в изложницу*

По сравнению с прежним методом разливки стали в изложницу при непрерывной разливке можно сократить не только время за счёт исключения некоторых операций, но и капиталовложения (например, на сооружение обжимных станков). Непрерывная разливка обеспечивает значительную экономию металла вследствие уменьшения обрезки и энергии, которая тратилась на подогрев слитка в нагревательных колодцах. Исключение нагревательных колодцев позволило в значительной степени избавиться от загрязнения атмосферы. По ряду других показателей: качеству металлопродукции, возможности механизации и автоматизации, улучшению условий труда непрерывная разливка также эффективнее традиционных способов. Но непрерывная разливка имеет и отрицательные стороны. Стали некоторых марок, например кипящие, нельзя разливать по этому методу, малые объёмы разливки сталей различных марок повышают их себестоимость, неожиданные поломки оказывают большое влияние на снижение общей производительности.

#### *Основные типы МНЛЗ*

Конструкционное оформление МНЛЗ постоянно развивается и совершенствуется в течение всего периода их применения в промышленности. Основные конструктивные и технологические решения обычно направлены на повышение производительности МНЛЗ, ее компактности, обеспечение высокого качества заготовки, снижение трудоемкости процесса, уменьшение энергозатрат и повышение безопасности автоматическими системами управления. Наиболее важными вопросами при этом являются рациональная конфигурация, расположение и протяженность главной технологической оси, профиль поперечного сечения заготовки, совмещение дискретного характера подачи стали от плавильного агрегата с непрерывной работой МНЛЗ и т.п.

Первоначально (50-е и 60-е годы прошлого столетия) МНЛЗ имели вертикальную архитектуру (**вертикальная МНЛЗ**) (рис.2.10), включая участок порезки заготовки на мерные длины.



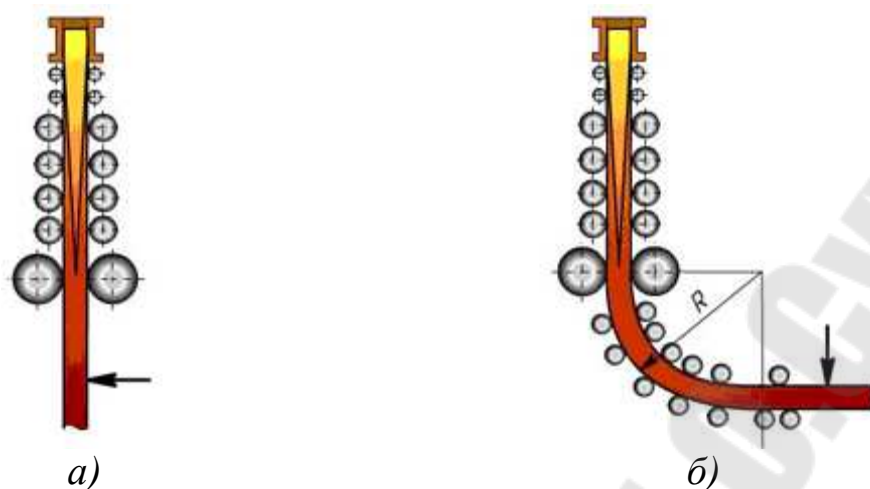


Рис. 2.10. Схема вертикальной (а) и вертикальной с загибом (б) МНЛЗ

*Преимущества* таких МНЛЗ заключаются в том, что все процессы формирования заготовки происходят в вертикальной плоскости (так же, как и у слитка). Это обеспечивает получение высокого качества внутренней структуры заготовки и упрощает конструкцию машины в целом.

Между тем вертикальные МНЛЗ имеют достаточно серьезные ограничения по скорости разливки (а, следовательно, производительности), поскольку ее повышение предполагает увеличение технологической длины машины и существенное удорожание оборудования. Однако развитие кислородно-конвертерного процесса, бурно происходившее именно в 60-е и 70-е годы прошлого века, обусловило существенное увеличение удельной производительности конвертеров как за счет уменьшения цикла плавки, так и за счет повышения ее массы. Поэтому развитие конструкции МНЛЗ в этот период характеризуется стремлением повысить их производительность за счет увеличения скорости разливки и количества ручьев. Это обусловило тот факт, что более поздние конструкции вертикальных МНЛЗ предусматривали загиб заготовки после ее затвердевания (рисунок 1.8 б) и порезку заготовки при ее расположении в горизонтальной плоскости. Загиб заготовки при этом осуществлялся как по односточной, так и по многоточечной схемам. Существенным преимуществом таких машин является улучшение условий выдачи заготовки на холодильник. В настоящее время вертикальные МНЛЗ используются довольно редко и в основном для получения высококачественного блюма и сляба.

В 70-е и 80-е годы прошлого столетия наибольшее распространение при разливке стали получили **МНЛЗ радиального типа** (рис.

2.11). Конструктивной особенностью таких машин является наличие кристаллизатора определенного радиуса (соответствует базовому радиусу МНЛЗ  $R_0$ ), что обеспечивает получение радиальной технологической линии. После затвердевания заготовки осуществляется ее разгиб и выдача готовой заготовки на холодильник в горизонтальной плоскости.

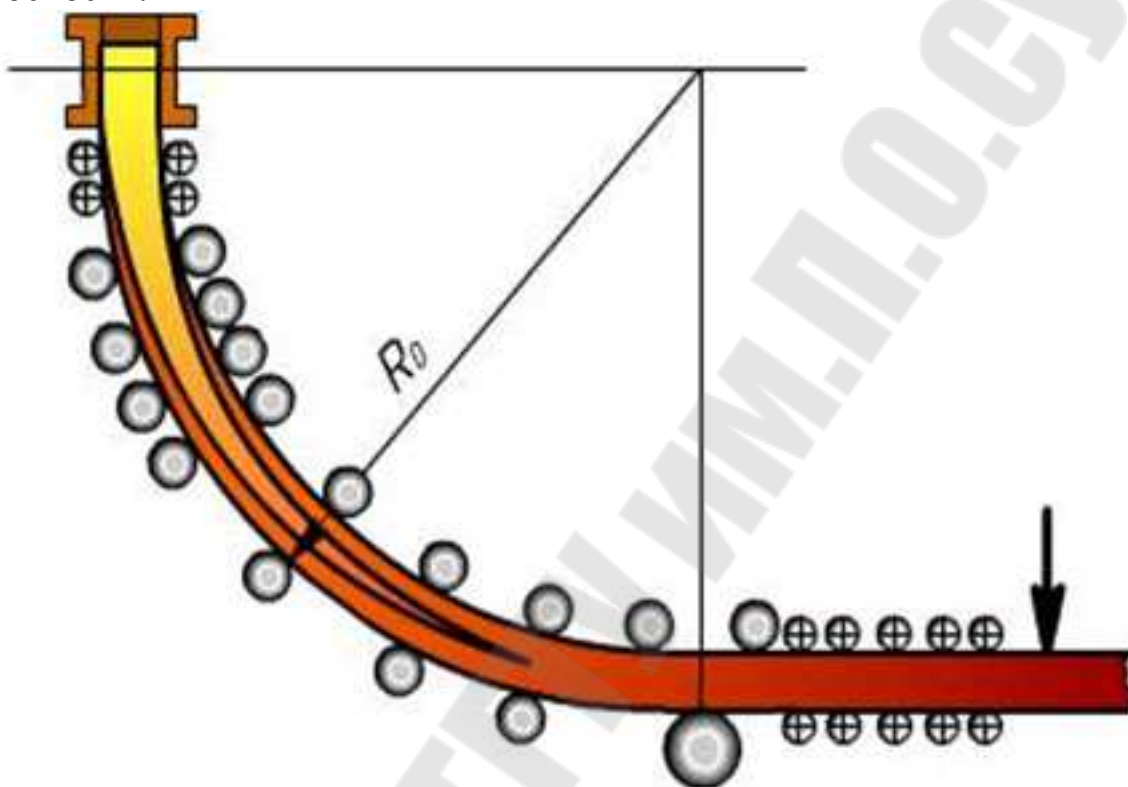


Рис. 2.11. Схема МНЛЗ радиального типа ( $R_0$  – базовый радиус)

**Преимущества** радиальных МНЛЗ перед вертикальными заключаются в том, что металлургическая длина машины при том же ферростатическом давлении увеличивается примерно в 1,5 раза, вследствие чего уменьшается высота машины, возрастает скорость разливки и производительность агрегата. Кроме того, выдача заготовки на холодильник осуществляется в горизонтальной плоскости. Недостатки таких МНЛЗ относятся, главным образом, к качеству заготовки, которое, как правило, несколько ниже, чем у заготовок, отлитых на вертикальной машине. Это объясняется всплыванием неметаллических включений в кристаллизатор к стенке малого радиуса и возможным появлением внутренних трещин, возникающих при разгибе заготовки. Последний недостаток в значительной степени устраняется путем применения системы многоточечного разгиба. В на-

стоящее время радиальные МНЛЗ используются преимущественно для получения сортовой и блюмовой заготовки.

Развитием концепции высокопроизводительных МНЛЗ следует считать так называемые **криволинейные МНЛЗ** с радиальным и вертикальным кристаллизатором (рис. 2.12).

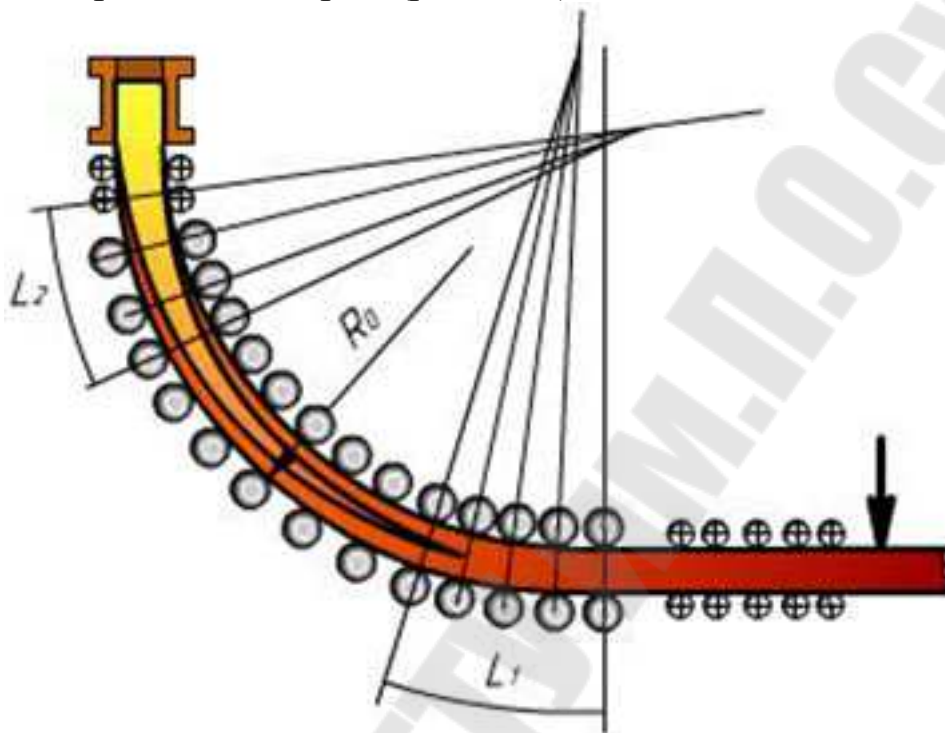


Рис. 2.12. Схема МНЛЗ криволинейного типа ( $L_1$ ,  $L_2$  – участки разгиба и загиба заготовки;  $R_0$  – базовый радиус)

Криволинейные МНЛЗ с радиальным кристаллизатором имеют кристаллизатор и часть зоны вторичного охлаждения с постоянной кривизной (базовый радиус) и участок переменной кривизны, где происходит плавное выпрямление заготовки с жидкой сердцевинной. Такие машины при такой же общей высоте как вертикальные или радиальные могут иметь значительно большую технологическую длину (до 40 м) и, соответственно, более высокую производительность.

Криволинейные МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором имеют небольшой вертикальный участок (длиной 1,5-2,5 м), расположенный в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) непосредственно под кристаллизатором, а затем участок многоточечного загиба заготовки, переходящий в радиальный участок с базовым радиусом, аналогичным как у радиальных машин. Выпрямление заготовки осуществляется после ее полного или частичного затвердевания по многоточечной

схеме. Такая схема позволяет обеспечить наиболее благоприятные условия для формирования заготовки в начальный период затвердевания, в том числе для всплытия неметаллических включений.

Загиб затвердевающей заготовки осуществляется, как правило, в 5-8 и более точках, что предотвращает возможность образования трещин и прорывов металла в твердой корочке. Последующие участки криволинейной МНЛЗ в целом аналогичны дизайну радиальных МНЛЗ.

*Основные преимущества* криволинейных МНЛЗ находятся в плоскости повышения качества заготовки (в первую очередь, поверхностных и подповерхностных слоев) и увеличения компактности машины. Между тем, определенным недостатком таких МНЛЗ является повышение требований к точности настройки роликов ЗВО и технологической линии в целом.

Наиболее важными функциональными моментами при этом являются зона загиба и разгиба заготовки, где жестко регламентируется величина деформации твердой корочки. Наибольшее применение криволинейные машины получили при разливке слябовой заготовки.

В металлургической практике известны также МНЛЗ, технологическая линия которых расположена горизонтально. **Горизонтальные МНЛЗ** представляются весьма перспективными в части снижения затрат на строительство машины (рис.2.13).

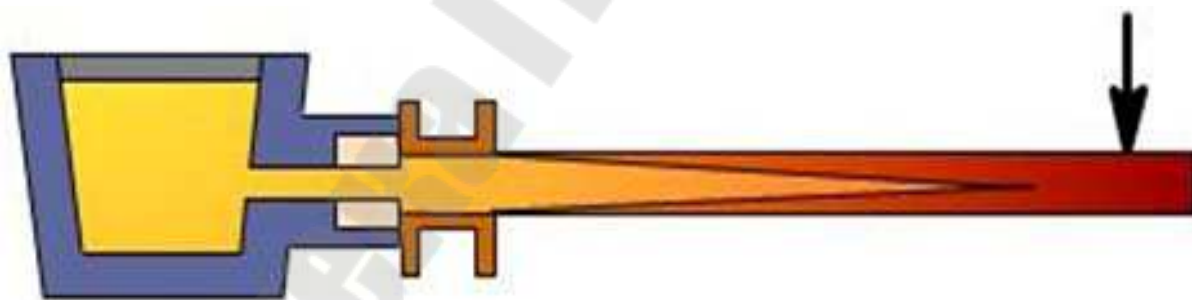


Рис. 2.13. Схема горизонтальной МНЛЗ

Они компактны и их удобно размещать в действующих цехах. При этом нет необходимости увеличивать высоту здания или формировать глубокий колодец. Обслуживание такой машины, ремонт и замена основных узлов весьма удобны и просты. Между тем, отсутствие деформации заготовки в процессе затвердевания даёт возможность лить горизонтальным способом хрупкие и трещиностойкие стали и сплавы, которые не выдерживают деформации в про-

цессе литья. Однако достаточно очевидным представляется и тот факт, что качество заготовки при этом будет значительно ниже, вследствие того, что неметаллические включения и пузырьки газа будут всплывать к верхней грани. Такая физическая неоднородность существенно снижает кондиции продукции из заготовки. Кроме того, до настоящего времени на практике не решены полностью вопросы успешного совмещения работы металлоприемника и кристаллизатора (для условий разливки стали). Поэтому в черной металлургии такие МНЛЗ практически не используются.

Широкое распространение горизонтальные МНЛЗ получили при разливке цветных металлов и сплавов.

### ТЕМА 3 ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЕ АГРЕГАТЫ

Идея получения металлического проката непосредственно из жидкого металла была впервые выдвинута Г.Бессемером еще в 1857 г. Предложенное устройство включает в себя водоохлаждаемые чугунные валки, между которыми происходит кристаллизация металла и две пары калибрующих валков.

Применение подобной технологии позволяет существенно упростить и удешевить производственный процесс за счет исключения ряда операций, снизить потери металла и энергии, существенно улучшить условия труда и т.д. Однако эта идея, была реализована лишь спустя столетие при достижении соответствующего уровня техники. Еще в 40-е годы прошлого века отечественные и зарубежные разработки в этой области были представлены рядом не внедрённых в промышленность изобретений, а сведения об опыте внедрения и эксплуатации отсутствовали ввиду закрытости данной тематики.

Первоначально на практике удалость осуществить получение заготовок непрерывным литьем на вертикальных машинах для последующей прокатки обычными методами. Однако применение МНЛЗ вертикального типа значительно снижало экономические показатели процесса в целом, так как, несмотря на отсутствие в составе комплекса обжимных станов, капитальные затраты на строительство оставались значительными. При этом отсутствовала возможность непосредственного совмещения литья с прокаткой.

Только с появлением радиальных МНЛЗ удалость существенно снизить высоту здания и капитальные затраты на строительство.

Для экономии энергии, связанной с повторными нагревами, более рациональной организации технологического процесса, повышения качества металла предложены совмещенные процессы, объединяющие традиционные способы ОМД и другие способы получения и обработки изделий (чаще всего это литейный передел и термическая обработка).

Рассмотрим некоторые из них.

#### *Литейно-штамповочный агрегат*

Наиболее простой совмещенный процесс – штамповка металла в период кристаллизации. Металл затвердевает и кристаллизуется в период штамповки. Схема процесса типична для штамповки в закрытом штампе (рис. 3.1.).

В исходной позиции (рис. 3.1., *a*) металл заливается в металлоприемник, выполняющий функции нижнего штампа, и обжимается пуансоном, при этом должна быть обеспечена герметичность штампа. Применяемый комбинированный штамп обеспечивает также удаление поковки из рабочей полости с помощью съемника и пружинно-рычажного механизма. К преимуществам такого процесса относятся снижение энергозатрат за счет исключения нагрева и обработки исходной заготовки, малые усилия штамповки жидкого металла, более высокий коэффициент использования металла - отношения массы детали к массе заготовки ( $K_{им} = G_d/G_0$  до 0,93); лучшее качество металла (мелкозернистая структура, отсутствие пороков литого металла).

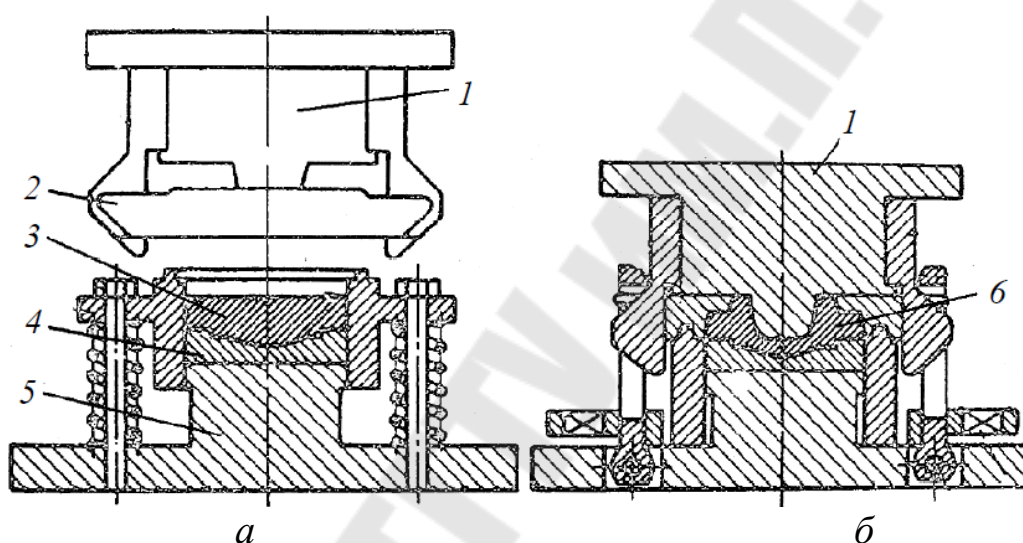


Рис. 3.1. Стадии штамповки жидкой стали:

- a* – начальная, *б* – конечная; 1 – пуансон; 2 – съемник;  
3 – жидкий металл; 4 – металлоприемник; 5 – корпус штампа;  
6 – штамповка

Недостатки связаны с низкой стойкостью штампов, сложностью точной дозировки объема металла, снижением прочностных свойств изделий, так как они имеют мелкозернистую, а не волокнистую структуру.

#### *Заготовочный литейно-прокатный агрегат*

Одно из преимуществ непрерывной разливки стали – это возможность размещения в линии МНЛЗ прокатных станов с организацией литейно-прокатного комплекса. В этом случае производственный цикл становится максимально компактным, сокращаются энергозатраты на повторный нагрев заготовки (используется тепло литейно-

го передела), уменьшаются потери металла в окалину, улучшается качество металла.

Литейно-прокатные комплексы широко используются в цветной металлургии для получения сортового и листового проката из алюминия, меди, цинка и других металлов. В черной металлургии использование таких агрегатов затруднено тем, что скорость выхода полосы из МНЛЗ значительно ниже применяемых скоростей прокатки. Для обеспечения полной загрузки прокатных станов применяют подогревательные печи. Схема компоновки оборудования подобного агрегата приведена на рисунке 3.2., где литьем формируется заготовка относительно крупных размеров порядка  $180 \times 180$  мм, а затем сразу же после завершения кристаллизации и небольшого подогрева обжимается в заготовку меньшего сечения (например,  $100 \times 100$  мм). Каждый ручей МНЛЗ имеет отдельную прокатную группу, состоящую из чередующихся клетей с горизонтальными и вертикальными валками.

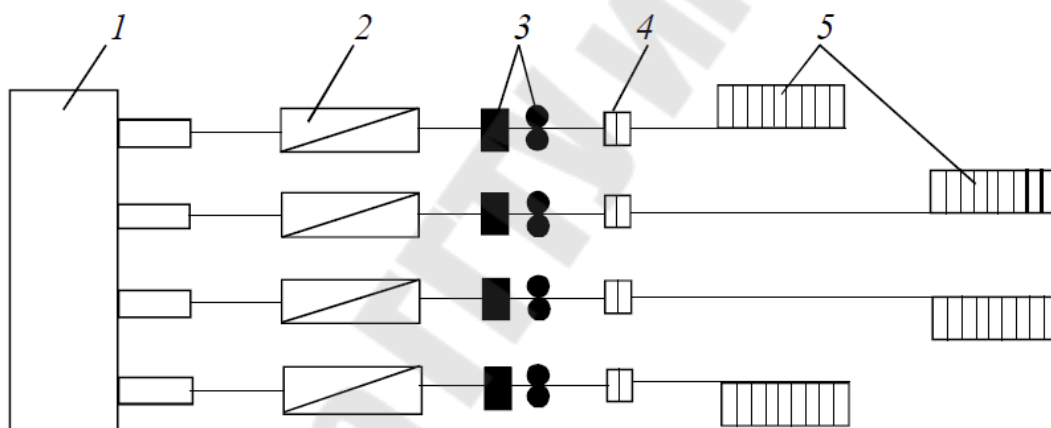


Рис. 3.2. Схема расположения оборудования заготовочного литейно-прокатного агрегата:

1 – четырехручьева МНЛЗ; 2 – подогревательные проходные печи; 3 – прокатные станы с горизонтальными и вертикальными валками; 4 – ножницы; 5 – холодильники

Развивается использование литейно-прокатных агрегатов и для производства готового проката, где производительность прокатного стана еще больше отличается от производительности МНЛЗ.

*Литейно-прокатный агрегат катанки*

На рисунке 3.3. приведена схема агрегата для выпуска стальной проволоки (катанки) диаметром 8 – 12 мм.



В агрегате используется одноручьева непрерывно-литейная машина радиального типа, позволяющая получать слиток сечением  $80 \times 60$  мм. Из литейной машины слиток поступает в зачистную машину, в которой производится очистка его поверхности. Перед зачистной машиной установлены летучие ножницы для обрезания переднего конца слитка в начале процесса, либо самого слитка в случае нарушения процесса прокатки. После зачистки поверхности слиток подается в индукционный подогреватель, а затем в планетарный стан с двусторонним обжатием, где происходит его деформация до квадратного ( $20 \times 20$  мм) сечения. На выходе из планетарного стана передний конец слитка обрезается летучими ножницами барабанного типа, а слиток далее поступает в непрерывный прокатный стан, состоящий из черновых и чистовых клетей, в котором производится его прокатка в проволоку требуемого сечения. За прокатным станом установлены летучие ножницы барабанного типа, разрезающие проволоку при нарушении процесса ее сматывания. В сматывающих устройствах проволока сматывается в бунты, а затем поступает на склад. Скорость выхода проволоки до 15 м/сек.

Для интенсивного двухстороннего обжатия заготовки применен универсальный планетарный стан с горизонтальными и вертикальными валками. За планетарным станом установлены две черновые и две непрерывные группы чистовых клетей.

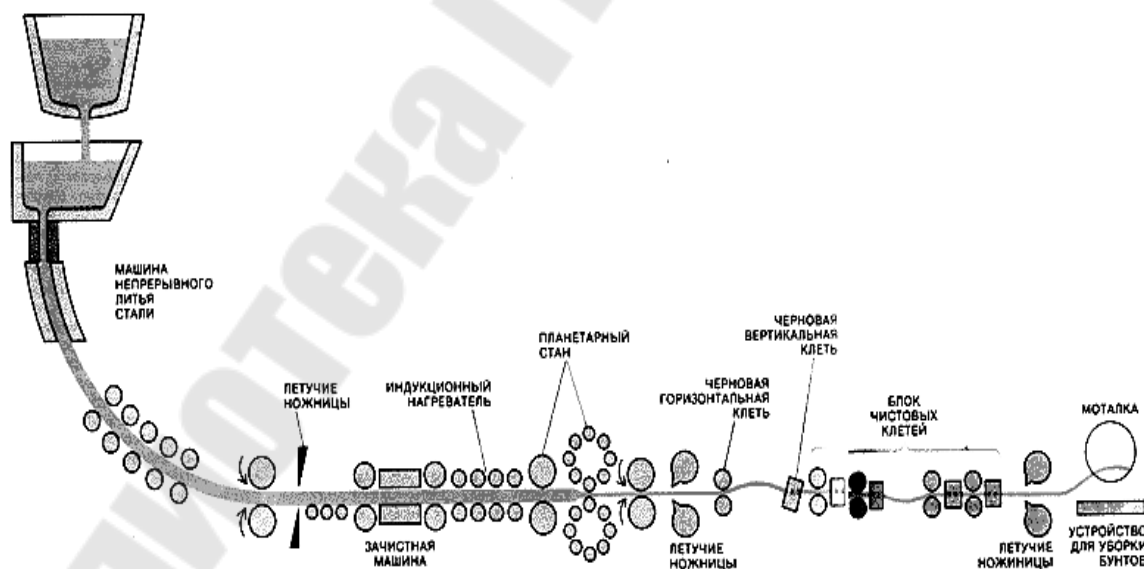


Рис. 18.3. Схема литейно-прокатного агрегата для производства стальной проволоки:

1 – МНЛЗ; 2 – летучие ножницы; 3 – индукционный нагреватель;

4 – планетарный стан; 5 – тянущие ролики; 6 – барабанные ножницы; 7 – черновая горизонтальная клеть; 8 – черновая вертикальная клеть; 9 – группы чистовых клетей; 10 – моталки

#### *Сортовой литейно-прокатный агрегат*

Другим примером может служить совмещенный агрегат для сортового проката, созданный в Японии (рис. 3.4.). Здесь используется роторный кристаллизатор с колесом диаметром 2,4 м, в котором выполнен калибр для получения проката трапецеидального сечения, наружная поверхность которого ограничивается натянутой на роликах лентой.

После кристаллизации заготовка при необходимости подогревается и поступает в прокатный стан с вертикальными и горизонтальными клетями, затем разрезается и подается для дальнейшей прокатки на сортовые станы.

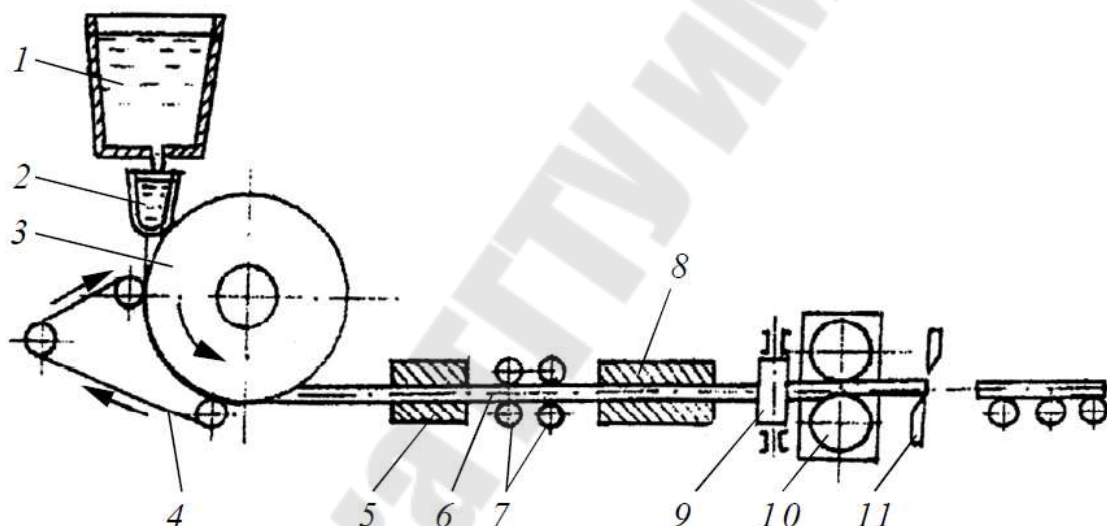


Рис. 3.4. Схема литейно-прокатного агрегата для получения сортового проката:

1, 2 – основной и вспомогательный сталеразливочные ковши; 3 – роторный кристаллизатор; 4 – прижимная лента; 5 – охладитель; 6 – заготовка; 7 – тянущие ролики; 8 – нагревательное устройство; 9, 10 – клетки с вертикальными и горизонтальными валками соответственно; 11 – ножницы

#### *Литейно-прокатные агрегаты цветной металлургии*

Более широкое применение литейно-прокатные агрегаты нашли в цветной металлургии, например для производства алюминиевой полосы толщиной 10 мм и шириной 1 м в рулонах (рис. 3.5.).

Металл из миксера поступает в валковый кристаллизатор, затем при температуре 700 °С из распределительной коробки – в межвалковую щель и при дальнейшем движении вверх кристаллизуется в полосу, которую потом правят, режут и сматывают в рулоны.

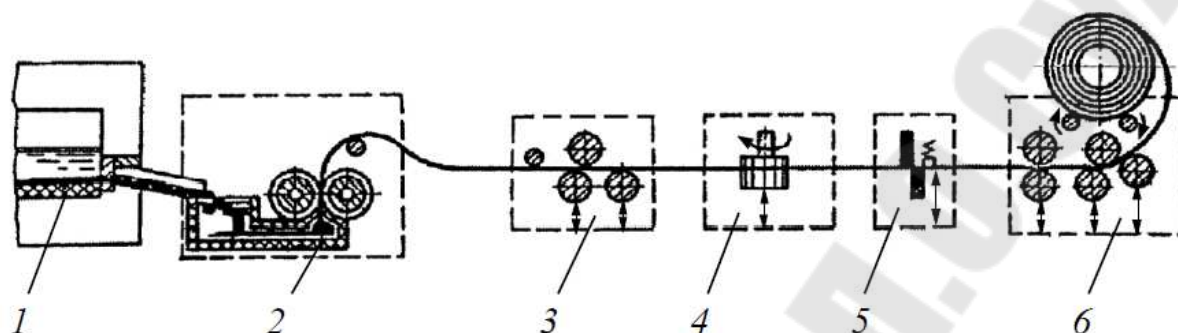


Рис. 3.5. Литейно-прокатный агрегат для производства алюминиевой полосы: 1 – миксер; 2 – валковый кристаллизатор; 3 – правильная машина; 4 – машина для фрезерования боковых кромок; 5 – ножницы; 6 – свертывающая машина

#### *Литейно-ковочный агрегат*

Известны также проекты вертикальных литейно-ковочно-прокатных агрегатов. Один из основных элементов агрегата – вертикальный кристаллизатор, установленный на крышке герметичного промежуточного ковша (рис. 3.6.). Вертикальная разливка производится за счет подачи в ковш газа под давлением, достаточного для подъема металла в кристаллизатор.

В данном агрегате разливается полая заготовка, из которой ковкой и прокаткой производят стальную проволоку диаметром 6,5 мм. При использовании полой заготовки обеспечивается мелкозернистость и однородность химического состава металла, который состоит только из поверхностных однородных слоев. Сформировавшаяся в кристаллизаторе полая заготовка подается в ковочный блок для заковки трубчатой заготовки в пруток. Заготовка предварительно подогревается в проходной муфельной печи сопротивления. Ковочный блок вертикального исполнения содержит 6 ползунов с бойками, приводимыми в движение эксцентриковыми механизмами от электродвигателей. Рабочие поверхности бойков образуют шестиугольный замкнутый контур. Далее через петлеобразователь, служащий для создания запаса металла и обеспечения синхронности работы агрегатов, заготовка поступает в 11-клетевой прокатный блок вертикального ис-

полнения. Прокатный блок состоит из 10 обжимных четырехвалковых клеток и одной чистовой клетки. На заключительном этапе производится отделка и сворачивание проволоки в бунты.

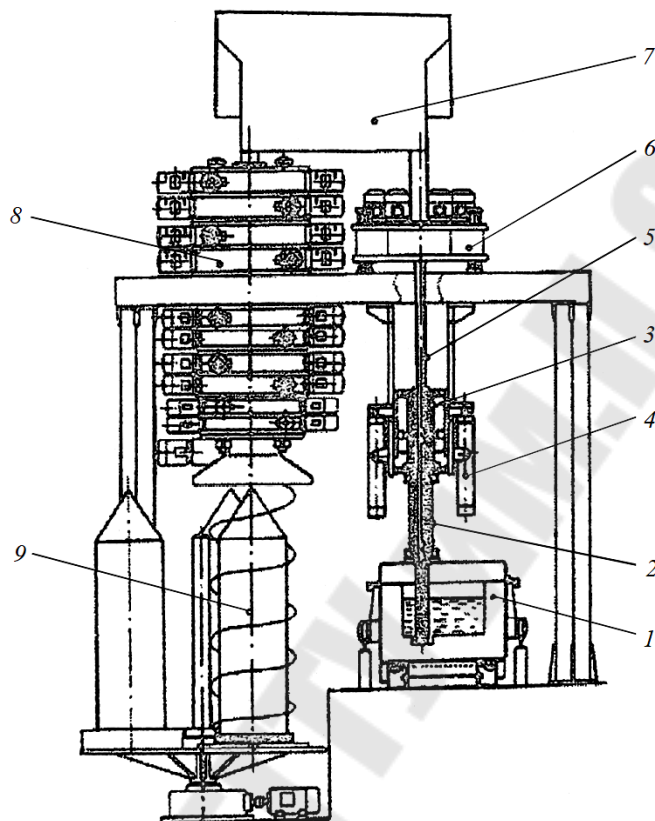


Рис. 3.6. Схема литейно-ковочно-прокатного модуля:

- 1 – промежуточный ковш; 2 – кристаллизатор; 3 – устройство зоны вторичного охлаждения; 4 – устройство подачи литой заготовки в ковочный блок; 5 – литая заготовка; 6 – ковочный блок; 7 – петлеобразователь; 8 – непрерывный прокатный блок; 9 – устройство приема катанки

#### *Прессово-литейный агрегат*

Анализ возможных технических решений по совмещению горизонтальной непрерывной разливки и прессования показал, что наиболее пригодным является полунепрерывное обратное прессование. Оно предполагает подачу в разъемный контейнер части длиномерной заготовки, ее радиальную деформацию при смыкании контейнера и обратное прессование путем движения контейнера навстречу пустотелому пресс-штемпелю с матрицей.

Структура подобного литейно-прессового агрегата приведена на рисунке 3.7.

В качестве металлоприемника в агрегате используется индукционная печь, снабженная дополнительной емкостью, играющей роль промежуточного ковша МНЛЗ, к стенке которого крепится водоохлаждаемый кристаллизатор. За кристаллизатором установлено устройство вторичного охлаждения и прокатная клеть для придания заготовке плоско-овальной формы перед заданием в контейнер прессы. Прокатная клеть в начале периода разливки может выполнять также функцию вытяжного устройства. Затем заготовка вводится в составной контейнер прессы, раздавливается сегментами контейнера до круглого сечения и перемещается с контейнером на длину запроецированного шага вытягивания заготовки из кристаллизатора. Далее при рабочем ходе главных цилиндров прессы осуществляется прессование части заготовки.

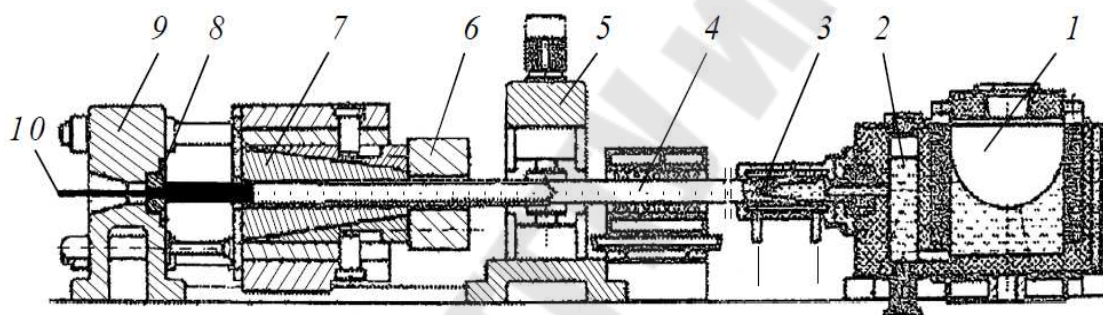


Рис. 3.7. Структура литейно-прессового агрегата:

1 – индукционная печь; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – устройство вторичного охлаждения; 5 – прокатная клеть; 6 – подвижная поперечина прессы; 7 – контейнер; 8 – матрица; 9 – неподвижная поперечина прессы; 10 – прессуемый пруток

В данной конструкции проблема обратного перемещения литой заготовки для предотвращения поверхностных дефектов решена за счет осевого перемещения металла во время радиальной осадки в контейнере. Во время паузы в период кристаллизации очередной части слитка подвижная поперечина прессы смещает назад разомкнутый контейнер на величину хода прессования, и цикл обработки повторяется.

#### *Преимущества литейно-прокатных агрегатов*

– при применении такой технологии удаётся практически полностью использовать первичную теплоту непрерывнолитой заготовки для ее деформации, что существенно экономит энергоресурсы на на-

грев. Также исключается промежуточное складирование заготовок, что значительно повышает производительность стана (до 25%) и эффективность использования оборудования.

- компактное расположение оборудования, что требует меньших производственных площадей и капитальных затрат на строительство (до 1,5 раза).

- обжатиe литого металла в таком совмещенном процессе способствует улучшению качества поверхности и структуры литых заготовок. При совмещении процессов разливки и прокатки снижается себестоимость проката благодаря повышению выхода годного (на 2%) и сокращению расходов по переделу.

- на литейно-прокатных агрегатах можно получить заготовки различных профилей, в том числе малых сечений без снижения производительности завода, так как сталь разливают в кристаллизатор одного наиболее выгодного размера, под который разработаны все схемы калибровок прокатного стана.

Однако в вопросе совмещения МНЛЗ и прокатного стана существует ряд проблем, таких как согласование скоростей непрерывной разливки и входа металла в первую клетку прокатного стана, которые различаются в несколько раз, а также вопросы обеспечения высокого качества непрерывнолитой заготовки в связи с отсутствием возможности его регулирования на стыке этих двух агрегатов.

Решение вопроса согласования скоростей разливки и входа металла в первую клетку стана обусловило появление нескольких возможных вариантов схем состыковки этих двух агрегатов:

- прямая состыковка с резкой слитка перед задачей в проходную печь (или без резки);

- состыковка с использованием устройств для интенсивной пластической деформации (планетарные клетки и т.д.) в первом проходе;

- состыковка с использованием высокоскоростных МНЛЗ: валковых, ленточных, роторных и т.д.;

- состыковка сортового стана с слябовой МНЛЗ с поперечной резкой сляба на заготовки или прокаткой сляба «на ребро».

## ТЕМА 4 ОБОРУДОВАНИЕ ТРУБНЫХ ЦЕХОВ

Трубы для магистральных трубопроводов (для транспортировки жидких, газообразных и сыпучих продуктов) изготавливают электро-сваркой с прямым или спиральным швом.

Водо-газопроводные трубы имеют наиболее массовое потребление, должны быть дешевыми – непрерывная печная сварка. Газопроводные трубы выпускают также оцинкованными с цилиндрической или конической резьбой на концах для соединения их муфтами.

Нефтяные трубы (обсадные, бурильные, насосно-компрессорные) используют в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности (крекинговые, нефтепроводные и др.) – изготавливают бесшовными из углеродистой и легированной стали.

Трубы для теплоэнергетических установок выполняют бесшовными из углеродистой, легированной и высоколегированной (коррозионностойкой и жаропрочной) сталей.

Трубы для химической промышленности используют в различных аппаратах и установках, и в зависимости от условий эксплуатации – бесшовные или сварные.

В машиностроении, авиации, автотракторостроении, в гражданском и промышленном строительстве и других отраслях народного хозяйства широко используют конструкционные трубы из разных сталей, цветных металлов и сплавов – бесшовные или сварные.

### 4.1 Станы горячей прокатки труб

Горячей прокаткой получают трубы в основном из углеродистых сталей марок 10–45 и Ст.2–Ст.6 и легированных – ШХ15, 30ХГСА, 40Х, 30ХМА, 12Х1М1Ф, Х5М, Х5ВФ; из нержавеющей – стали Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х25Т. Бесшовные трубы изготавливают в широком диапазоне размеров: диаметром от 25 до 550 мм и толщиной стенки 2,5–30 мм и более.

Основные стадии процесса горячей прокатки труб – прошивка заготовки (слитка) в толстостенную гильзу и раскатка гильзы. В результате раскатки формируется труба с определенной толщиной стенки, а дальнейшие технологические операции (обкатка, калибровка) необходимы для придания трубе точности геометрических размеров и качества поверхности.

#### *Схемы прокатки труб*

Любой трубопрокатный агрегат должен иметь два стана – прошивной и раскатной. Кроме указанных станов, на современных агре-

гатах устанавливают станы для калибровки труб по диаметру, а при изготовлении труб малого диаметра – редуцирующие станы. В отдельных технологических схемах предусматривают установку обкатных станков, предназначенных для раскатки поверхностных дефектов.

Используемые способы раскатки гильзы в трубу определяют принципиальные особенности той или иной технологической схемы, согласно которой трубопрокатный агрегат носит наименование. Кроме того, оно дополняется еще цифровым обозначением, соответствующим сортаменту стана – максимальному и минимальному или только максимальному диаметру труб. Горячей прокаткой изготавливают трубы четырьмя основными способами на агрегатах:

1) с автомат-станом (прошивку ведут на стане поперечно-винтовой прокатки, а раскатку гильзы – на автомат-стане);

2) с пилигримовыми станами (прошивку ведут на стане поперечно-винтовой прокатки или на прессе, а раскатку – на пилигримовом стане);

3) с трехвалковым раскатным станом (прошивку ведут на стане поперечно-винтовой прокатки или (редко) на прессе, а раскатку – на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки);

4) с непрерывным станом (прошивку ведут на стане поперечно-винтовой прокатки или на прессе, а раскатку – на непрерывном стане).

При перечисленных способах производства прошивку, как правило, осуществляют на станах поперечно-винтовой прокатки и значительно реже для этой цели используют прессы.

В таблице 4.1 приведены данные о распределении деформации между двумя основными операциями – прошивкой и раскаткой гильзы. Эти данные показывают, что при изготовлении труб на установках с автомат-станом основную деформацию производят при прошивке, а при других способах большая деформация на раскатку. Особенно резкое различие наблюдается между агрегатами с автомат-станом и пилигримовым. При пилигримовой прокатке совершается основная часть деформации, и в данном случае при прошивке можно получать толстостенную гильзу. Это в значительной мере определяет возможность использования для изготовления труб слитков, подвергаемых лишь небольшой деформации поперечно-винтовой прокаткой.

Агрегаты с автомат-станом и пилигримовым станом являются наиболее универсальными: на них можно получать более тонкостенные трубы и трубы с очень толстой стенкой. Два других способа про-



катки имеют более узкую специализацию: на агрегатах с непрерывным станом прокатывают только тонкостенные трубы, а на агрегатах с трехвалковым раскатным станом – только толстостенные. Наиболее широкое распространение получили агрегаты с автомат-станом.

В зависимости от сортамента прокатываемых труб агрегаты делят на три типа: малые – для труб диаметром до 150 мм, средние для труб диаметром до 250 мм и большие – для труб диаметром до 530 мм.

Таблица 4.1

**Распределение деформации и характеристика сортамента при разных технологических схемах производства труб**

Трубопрокатный агрегат	Коэффициент вытяжки		Отношение $D/S$ *	
	при прошивке	при раскатке гильзы в трубу	наиболее тонкостенных труб	наиболее толстостенных труб
С автомат-станом	1,3–5,2	1,2–2,1	30–45	4,0–5,0
С пилигримовым станом	1,3–2,1	3,0–15,0	25–40	6,0–7,0
С непрерывным станом	1,8–3,0	3,0–6,5	25–36.	10–12
С трехвалковым раскатным станом	1,3–2,1	1,8–3,2	10–12	4,0–5,0

\* $D$  – наружный диаметр трубы;  $S$  – толщина стенки.

Производственная мощность агрегатов с автомат-станом составляет, тыс. т/год: малых – 100–120, средних – 200–250, больших – 400.

Технологический процесс на агрегатах с автомат-станом протекает в следующей последовательности. Круглые заготовки поштучно загружают в кольцевую печь. Нагретые до 1180–1240°C (в зависимости от марки стали) заготовки по транспортному рольгангу поступают к прошивному стану, имеющему боковую выдачу гильз. По наклонной решетке гильза перекачивается к автомат-стану. При прокатке на

автомат-стане толщину стенки, равную стенке готовой трубы, получают за два прохода. После прокатки труба по наклонной решетке поступает к одному из двух обкатных станов. Прокатка на автомат-стане с использованием неподвижной оправки вызывает появление продольных рисок на внутренней поверхности трубы. Эти риски (полностью или частично) устраняются разглаживанием поверхности трубы поперечно-винтовой прокаткой на оправке (обкатка). Одновременно обкатка несколько уменьшает поперечную разностенность. При этом диаметр трубы несколько увеличивается. Принцип работы обкатных станов такой же, как и прошивных. После обкатки труба поступает на калибровочный или редуцирующий станы и далее на отделку (правку, порезку на мерные длины, иногда термическую обработку и т. д.).

На агрегатах с пилигримовым станом применяют следующую технологию-схему (рис. 4.1): на прессе производят прошивку, а затем на стане-элонгаторе и на пилигримовом стане – прокатку.

Исключение из этой технологической схемы операции прошивки на станах поперечно-винтовой прокатки заметно повышает качество труб, при этом предотвращается брак по внутренним пленам. Кроме того, создаются благоприятные условия для расширения сортамента, т. е. для прокатки труб из высоколегированных сталей.

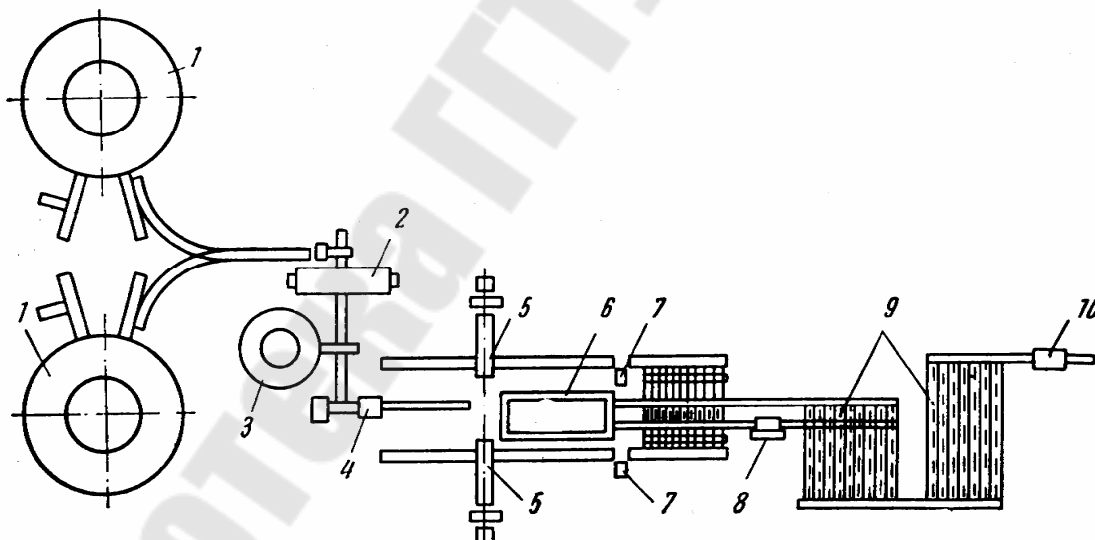


Рис. 4.1. Расположение оборудования агрегата с двумя пилигримовыми станами: 1 – кольцевая печь; 2 – горизонтальный прошивной пресс; 3 – кольцевая подогревательная печь; 4 – стан-элонгатор; 5 – пилигримовый стан; 6 – подогревательная печь; 7 – пила; 8 – калибровочный стан; 9 – охлаждающий стол; 10 – правильный стан

По размерам выпускаемых труб агрегаты с пилигримовым станом условно делят на три типа: малые – для труб диаметром  $< 120$  мм, средние – для труб диаметром до 326 мм и большие – для труб диаметром до 665 мм. По составу оборудования агрегаты всех трех типов аналогичны, малые агрегаты дополнительно оборудуют редуцированными станами.

Технологический процесс включает нагрев слитков в двух кольцевых печах до  $1220^{\circ}\text{C}$  и подачи их по рольгангу к прессу. Прошитую гильзу сначала прокатывают на элонгаторе, а затем – в одной из двух пилигримовых клетей. У прокатанных труб отрезают передний и задний (пилигримовая головка – недокат) концы на салазковых пилах, установленных за каждой пилигримовой клетью. Далее трубы поступают в подогревательную печь и на калибровочный стан. В составе агрегата имеются также правильные станы для правки труб в горячем состоянии. Производительность агрегатов, тыс. т/год: средних – до 300; больших – до 370.

На агрегатах с непрерывным станом трубы прошивают на валковом прошивном стане, получая гильзы диаметром 136 мм и с малым диапазоном толщины стенки. Кроме того, на непрерывном стане прокатывают трубы одного диаметра 108 мм. Благодаря применению оправок разного диаметра можно получать на нем трубы с разной толщиной стенки – от 3 до 8 мм.

Непрерывный стан имеет 9 клетей. Труба с оправкой выходит из непрерывного стана со скоростью до 6 м/сек. С выводного рольганга труба с оправкой шлепперами перемещается к одному из двух оправкоизвлекателей. Для расширения сортамента труб в потоке агрегата установлены два редуцирующих стана, работающих с натяжением. Один стан имеет 11 рабочих клетей и его иногда называют калибровочным; другой стан состоит из 19 клетей. На одиннадцатиклетевом стане получают трубы диаметром 73–102 мм, а на девятнадцатиклетевом – 30–68 мм. Трубы перед редуцированием нагревают в высокочастотной подогревательной печи до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Производительность установки с непрерывным станом превышает 400 тыс. т/год.

При производстве труб на агрегатах с трехвалковым раскатным станом используют обычно прошивные станы поперечно-винтовой прокатки.

Типовой агрегат с трехвалковым станом состоит из нагревательной печи (обычно кольцевой), прошивного стана поперечно-винтовой прокатки, трехвалкового раскатного стана, оправкоизвлекателя, по-

догревательной печи и трехвалкового калибровочного стана поперечно-винтовой прокатки. Таким образом, все три стана (прошивной, раскатной и калибровочный) – являются станами поперечно-винтовой прокатки. Достоинство агрегата состоит в высокой точности получаемых труб (допуски на диаметр и толщину стенки в 2–2,5 раза меньше, чем на других агрегатах), что особенно эффективно для труб, подвергающихся в дальнейшем механической обработке. На агрегате, в частности, прокатывают трубы из стали ШХ 15, предназначенные для колец подшипников качения.

#### *Прошивка заготовки*

При прошивке на стане поперечно-винтовой прокатки заготовке одновременно сообщается вращательное и поступательное движение под некоторым углом к оси валков (рис. 4.2, а). Угол перекоса оси валков  $\beta = 5\text{--}17^\circ$ , поэтому осевое перемещение заготовки за каждый ее оборот невелико, и обжатие по диаметру заготовки за полуоборот составляет всего 1–3%. Вследствие этого поперечно-винтовая прокатка протекает в условиях неравномерной деформации, и из-за появления дополнительных напряжений в центральной части заготовки схема напряженного состояния металла близка к объемной схеме растяжения. Центральная часть заготовки деформируется вынужденно под действием периферийных обжимаемых слоев. Напряженное состояние – объемное растяжение в центральной части заготовки – делает возможным прошивку в ней отверстия при значительном снижении усилия прошивки.

При поперечно-винтовой прокатке удельное усилие прошивки в десять и более раз меньше, чем при прошивке такой же заготовки на прессах, так как при прессовании схема напряженного состояния – объемное сжатие. При определенной степени деформации, называемой критической, может произойти разрыв металла в сердцевине под действием растягивающих напряжений. Процесс прошивки ведут таким образом, чтобы величина обжатия заготовки валками до встречи ее с оправкой не превышала критического значения, при котором происходит разрушение осевой зоны. Преждевременное вскрытие полости перед оправкой из-за превышения критического обжатия приводит к получению некачественной внутренней поверхности гильзы – разрывам, трещинам и пленам. Практически при прошивке заготовок из углеродистых сталей относительное обжатие по диаметру перед оправкой составляет 8–12%, а для заготовок из высоколегированных сталей 5–8%.

Применяют прошивные станы с валками трех видов (см. рис. 2): с бочковидными (а), дисковыми (б) и грибовидными (в). На всех этих станах по мере своего продвижения заготовка обжимается валками и прошивается в гильзу с внутренним диаметром, близким по величине к диаметру оправки. Наибольшее распространение получили прошивные станы с бочковидными валками. Современные рабочие клетки (рис. 4.3) имеют массивную литую станину коробчатой формы со съемной крышкой. Внутри станины закладывают пустотелые цилиндрические барабаны с проемами, в которых помещены подушки рабочих валков. Барабаны могут поворачиваться вокруг оси, перпендикулярной оси прошивки, изменяя тем самым угол наклона валков к оси прошивки. Этот угол называют углом подачи, так как он обеспечивает поступательное движение (подачу) заготовки в процессе прошивки.

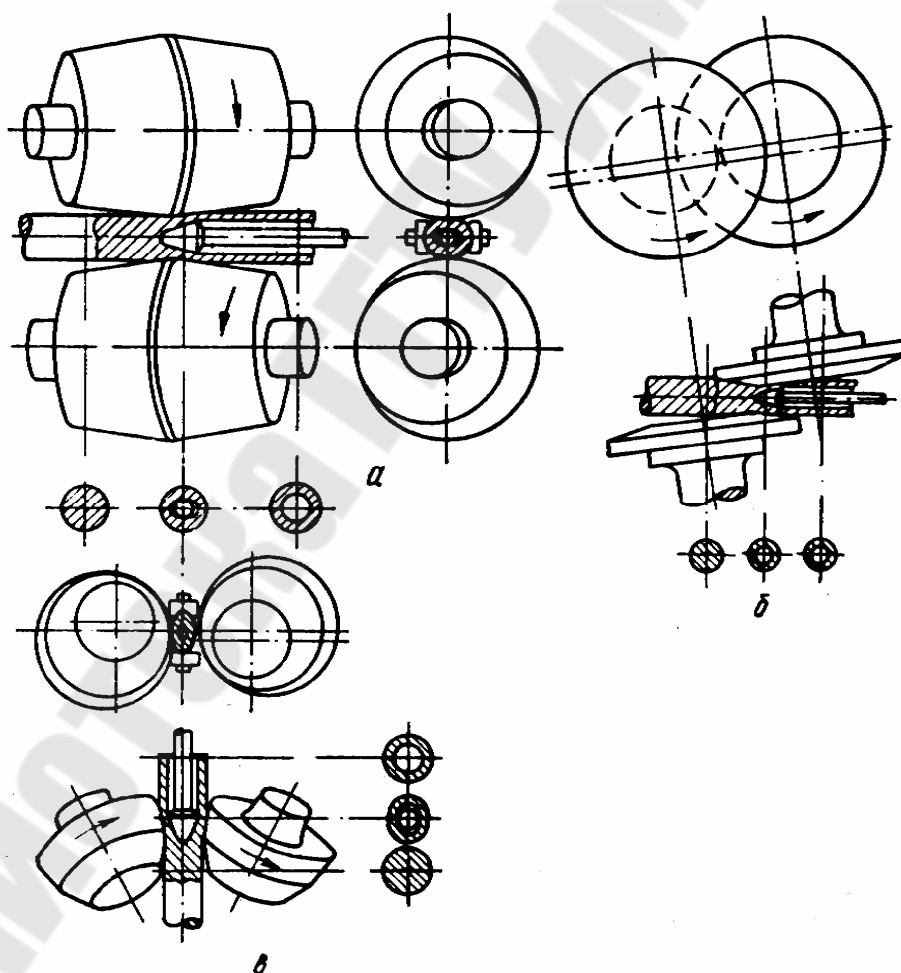


Рис. 4.2. Схемы прошивки на станах поперечно-винтовой прокатки

В отечественных конструкциях прошивных станов барабаны могут поворачиваться на угол от 0 до 90°, что значительно упрощает их перевалку – нет необходимости извлекать барабаны из станины. Установив барабаны так, чтобы валки находились в вертикальном положении, кассеты с валками извлекают из барабанов через окна в крышке станины. Рабочие валки крепятся в кассетах на конических роликоподшипниках, помещенных в стаканы и защищенных от попадания окалины. Кассеты с валками перемещаются по направляющим барабанов с помощью нажимных винтов. Каждый валок имеет самостоятельный механизм перемещения нажимных винтов, состоящий из двух червячно-цилиндрических редукторов, передающих вращение от одного электродвигателя. Для удержания (фиксации) заготовки в вертикальной плоскости используют направляющие линейки. Нижняя линейка (неподвижная проводка) установлена стационарно в линейкодержателе. Верхняя линейка закреплена к фасонной траверсе, которая может перемещаться вверх или вниз с помощью механизма, установленного на крышке станины.

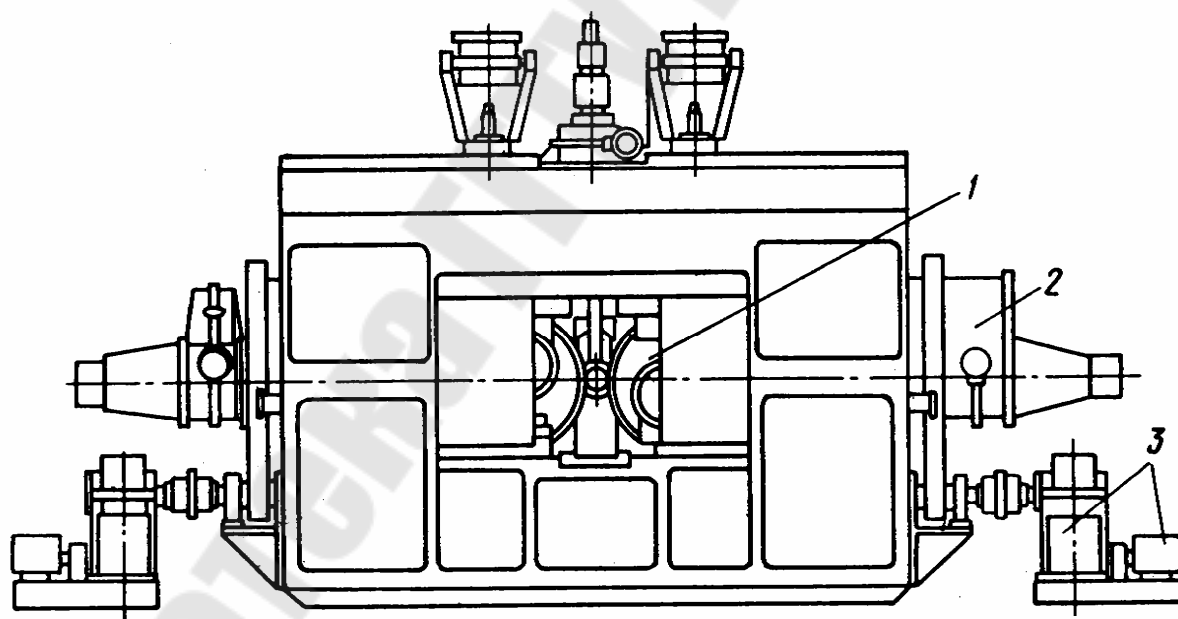


Рис. 4.3. Рабочая клетка прошивного стана с бочковидными валками:  
1 – рабочие валки; 2 – нажимное устройство; 3 – механизм поворота валков

Привод рабочих валков прошивного стана находится, со стороны подачи в них заготовки и состоит из электродвигателя, шестерен-

ной клетки и шарнирных шпинделей. Мощность двигателя в зависимости от размеров заготовки и скорости прошивки составляет 1000–4000 кВт.

Валки прошивных станов имеют форму, показанную на рис. 6. Валки первого типа (а), представляющие собой два усеченных конуса, приложенных друг к другу большими основаниями, применяют при прошивке заготовок, а второго (б) – с дополнительными участками для калибровки наружного диаметра гильзы – используют при прошивке слитков большого диаметра. При выборе диаметра рабочих валков следует учитывать, что с ростом их диаметра увеличиваются усилия при прокатке, рабочая клетка становится более громоздкой, но прочность валка и жесткость конструкции возрастают. Углы конусности валков являются наиболее характерными параметрами калибровки. Особенно большое влияние на процесс оказывает угол  $\alpha_1$  входного конуса валка, величиной которого определяется обжатие заготовки по диаметру перед оправкой. Оптимальные величины угла  $\alpha_1$ , используемые в практике, равны 3–4°. Угол  $\alpha_2$  раскатного (выходного) конуса валков обычно принимают равным от 3° 30' до 6°.

Для прошивки применяют оправки двух типов (рис. 4.4): сменяемые (а) и несменяемые (б). В последнее время широкое распространение получили несменяемые оправки, повышающие производительность стана и позволяющие полностью автоматизировать весь процесс, освободиться от тяжелых ручных операций.

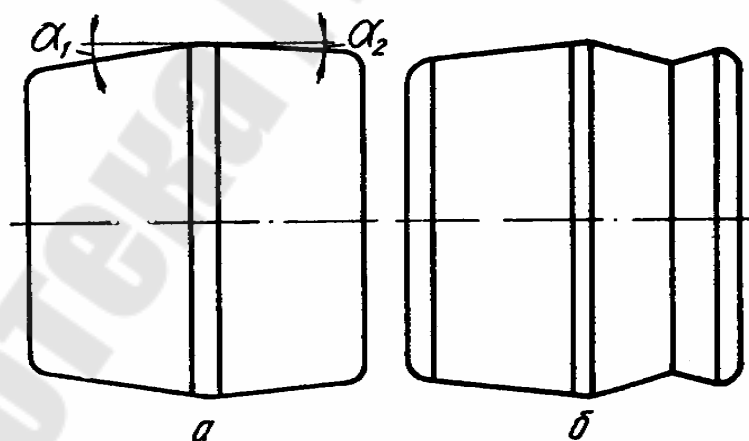


Рис. 4.4. Валки прошивного стана

В настоящее время при производстве бесшовных труб по некоторым технологическим схемам используют прошивку на прессах вместо прошивки на станах поперечно-винтовой прокатки. Прошивка

на прессах применяется в тех случаях, когда исходной заготовкой для получения труб служит слиток. Наибольшее отношение длины стака-на к его диаметру практически находится в пределах 4–7 (меньшее значение для большего диаметра стакана), так как усилия прошивки весьма значительны и чем больше длина пуансона (гильзы), тем меньше жесткость его, а, следовательно, больше разностенность стака-на. Поэтому для получения труб требуемой длины (не менее 8–12 м) следующую раскатку стакана производят с большими деформациями.

Наибольшее распространение получила заполняющая прошивка по методу Эргардта, когда многогранный слиток или квадратную за-готовку прошивают в круглом контейнере. Схема прошивки показана на рисунке 4.5. Площадь пуансона 1 (иглы) равна площади зазора между слитком 2 и контейнером 3, поэтому металл течет радиально и высота слитка практически не изменяется. Обычно прошивку ведут с некоторым переполнением (на 5–10%) для лучшего заполнения кон-тейнера. Прошивку производят на горизонтальных прессах усилием 8–12 МН (800–1200 Т).

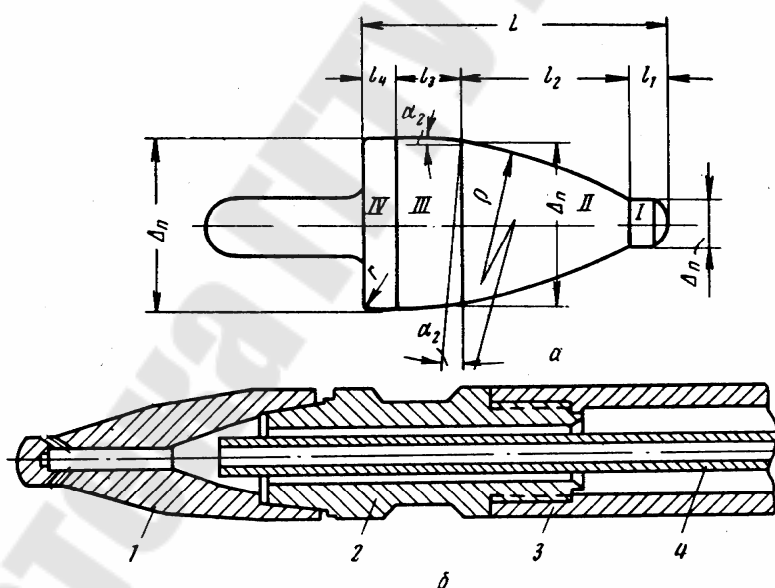


Рис. 4.5. Оправки прошивного стана:

1 – оправка водоохлаждаемая; 2 – переходной патрон; 3 – стержень; 4 – трубка для подачи воды (I–IV — участки оправки)

#### Оборудование для раскатки гильзы в черновую трубу

Для раскатки гильзы существуют станы четырех типов: автоматический, непрерывный, пилигримовый и трехвалковый.



Продольная прокатка (раскатка) гильзы на автомат-стане – один из наиболее распространенных способов получения трубы с заданной толщиной стенки. Автомат-стан представляет собой обычную переверсивную двухвалковую прокатную клеть.

Гильза прокатывается в круглом калибре за два прохода на неподвижной короткой оправке, установленной между валками (рис. 9, а). После каждого прохода раскатанную гильзу передают на переднюю сторону клетки с помощью пары фрикционных роликов обратной подачи, смонтированных на задней стороне клетки и вращающихся в противоположную по отношению к рабочим валкам сторону. В этот момент верхний валок немного приподнимают для передачи трубы на переднюю сторону стана, оправку после прокатки снимают и вновь устанавливают перед подачей гильзы на следующий проход.

Рабочая клеть (рис. 4.6., б) имеет две станины закрытого или открытого типа с общей съемной крышкой. Подушки рабочих валков сделаны из литой стали с текстолитовыми вкладышами. Станы, предназначенные для прокатки труб малых диаметров, оборудованы роликовыми подшипниками. Установка нижнего рабочего валка по высоте производится вручную продольными клиньями или нижними нажимными винтами. Положение верхнего рабочего валка регулируется двумя нажимными винтами, которые приводятся во вращение от электродвигателя через цилиндрический редуктор и червячные передачи. Подъем верхнего рабочего валка на определенную высоту для пропуска трубы при передаче ее на входную сторону и его опускание в рабочее положение производится клиновым механизмом. Мощность двигателя главного привода в зависимости от сортамента труб составляет 600–1900 кВт. Клеть оборудована передним и задним столами. На переднем столе смонтированы устройства для подачи гильзы – трубы в валки и кантовки ее после каждого прохода.

Задний стол оборудован трубчатыми проводками и упором для закрепления стержня, на переднем конце которого установлена короткая коническая оправка.

В валках автомат-стана размещают от 2 до 12 ручьев. Большее число относится к случаю прокатки труб малого диаметра. При прокатке на автомат-стане используют, как правило, круглые калибры, (рис. 4.7, а). Радиус калибра  $r_k$  принимают равным половине высоты  $h$  калибра, а угол выпуска  $\psi$  устанавливают в пределах 30–32°. Выпуск выполняют радиусом  $\rho$ . Отношение ширины калибра  $b$  к его высоте  $h$  называют коэффициентом овальности  $K$ . Обычно принимают  $K =$

1,03–1,08, меньшие значения коэффициента применяют при прокатке тонкостенных труб. Ширина калибра при прокатке тонкостенных труб ( $D/S = 20\text{--}40$ ) примерно равна или несколько больше диаметра задаваемой гильзы, а при прокатке толстостенных труб несколько меньше диаметра гильзы.

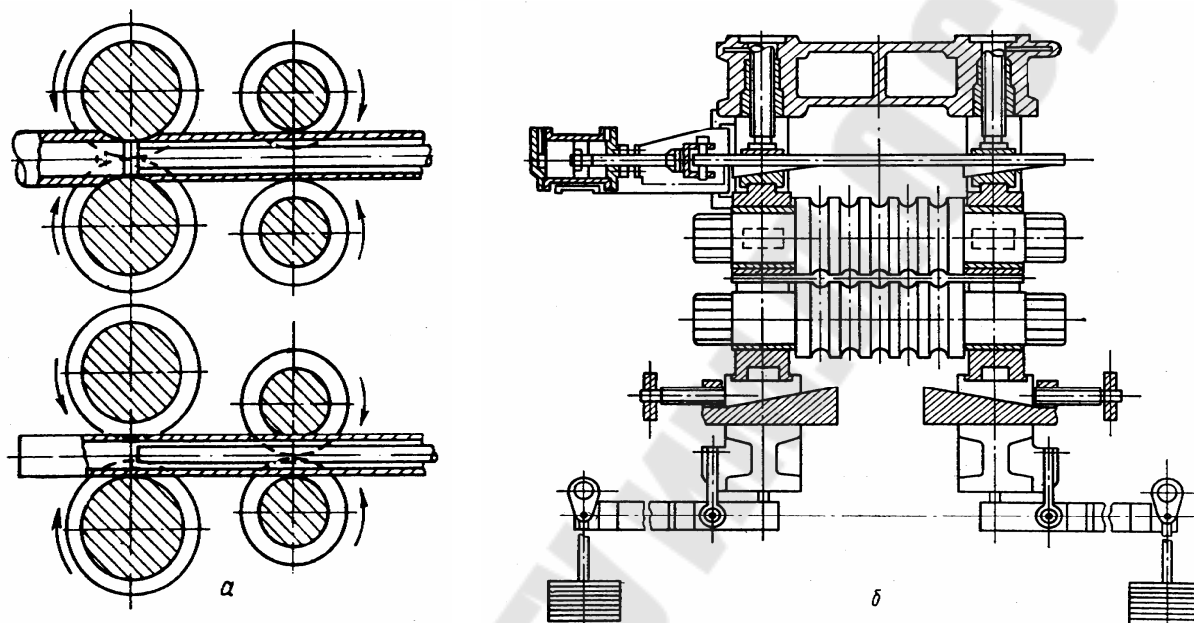


Рис. 4.6. Схема прокатки на автомат-стане (а) и рабочая клеть (б)

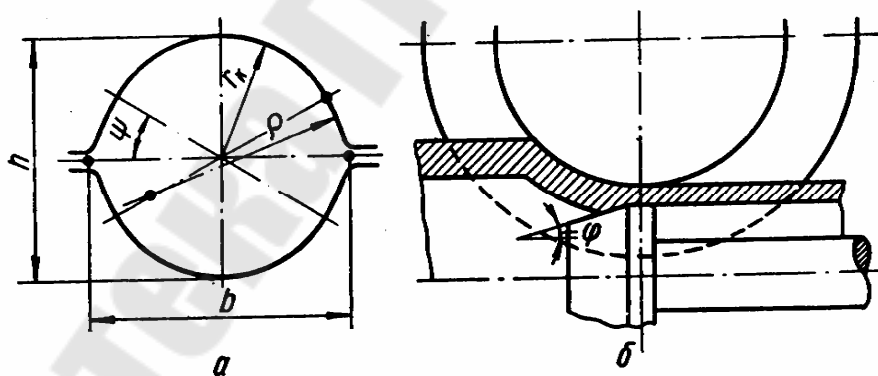


Рис. 4.7. Калибр (а) и очаг деформации (б) автомат-стана

Оправки автомат-стана (рис. 4.7, б) чаще всего имеют рабочую поверхность конической формы с углом конусности  $\varphi = 10\text{--}12^\circ$ . Длина цилиндрического пояса равна 20–45 мм, меньшее значение соответствует меньшему диаметру труб. Сопротивление оправки перемещению трубы в значительной мере зависит от угла конусности  $\varphi$ . С увеличением конусности сокращается контактная поверхность, но

увеличивается лобовое сопротивление оправки. Угол  $\varphi$  находят из условия минимального сопротивления оправки перемещению трубы. Практически обжатие стенки  $\Delta S$  на автомат-стане колеблется весьма незначительно и составляет 3–7 мм (меньшие значения для труб с более тонкой стенкой). Относительная деформация на автомат-стане для труб с толщиной стенки 3–3,5 мм составляет 50–55%, а для труб с толщиной стенки 40–50 мм относительная деформация равна 15–17%. Обжатие на автомат-стане лимитируется сопротивлением оправки продвижению гильзы; при больших обжатиях продвижение гильзы невозможно. В первом проходе коэффициент вытяжки равен 1,5–1,6, во втором – коэффициент вытяжки равен 1,10–1,30. Для первого и второго проходов используется один и тот же калибр. Деформация во втором проходе происходит за счет оправки, диаметр которой на 1–2 мм больше диаметра оправки первого прохода. Таким образом, после каждого прохода необходима смена оправки. После каждого прохода труба кантуется (поворачивается вдоль продольной оси) на  $90^\circ$ .

Раскатка гильзы в трубу на непрерывном многоклетевом стане является процессом непрерывной продольной прокатки. Прокатку ведут на длинной цилиндрической оправке, что позволяет получать трубы, большой длины (в два с лишним раза большей, чем, например, при прокатке на автомат-стане, где длина трубы ограничивается малой величиной деформации).

Каждая клеть современного стана имеет индивидуальный привод, что позволяет регулировать режим натяжения. Двухвалковые клетки расположены относительно друг друга под углом  $90^\circ$ . Таким образом, металл, находящийся в данной клетке в выпусках калибров, попадает в вершины калибра следующей пары валков и т. д. Такое расположение клеток устраняет необходимость кантовки труб. В отечественных конструкциях клетки устанавливают под углом  $45^\circ$  к горизонту. Вращение от двигателя передается через комбинированную шестеренную клетку и шпиндельные соединения. Общая мощность двигателей девятиклетевого стана составляет 8550 кВт. Все клетки одинаковые, расстояние между ними 1150 мм, валки диаметром 530–550 мм, длиной 230 мм. На стане прокатывают трубы одного диаметра (108 или 110 мм) с толщиной стенки от 3 до 8 мм. Станины рабочих клеток закрытого типа, рабочие валки смонтированы на конических четырехрядных роликовых подшипниках, которые закреплены в подушках, уравновешивание валков пружинное. Нажимные винты верхнего и нижнего валков приводятся во вращение от одного элек-

тродвигателя через червячные редукторы. Предусмотрена возможность перемещения только одного верхнего валка. На входной стороне стана установлены механизмы для введения оправки в гильзу и подачи ее с оправкой в валки.

Пилигримовая (пильгерная) прокатка относится к периодическим процессам и предназначена для производства труб с заданной толщиной стенки. При пилигримовой прокатке радиус ручья валков – переменный. Раскатка гильзы ведется на длинной цилиндрической закрепленной оправке – дорне.

На рис. 4.8 показан валок пилигримового стана.

Наиболее сложно при калибровке пилигримовых валков установить профиль гребня бойка. Известны различные методики, позволяющие рассчитать кривую гребня, исходя из различных параметров процесса.

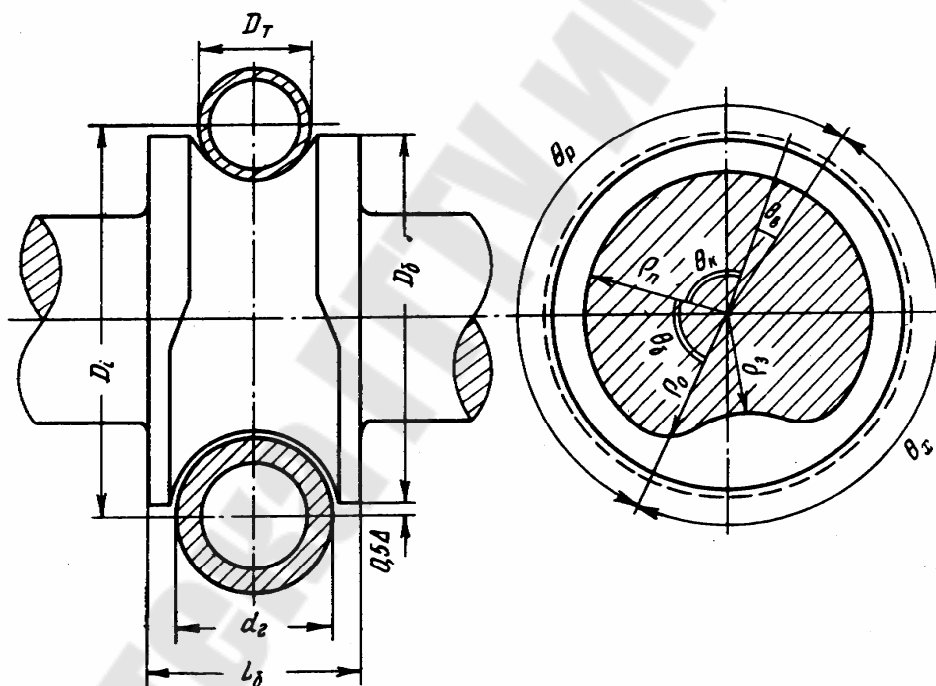


Рис. 4.8. Валок пилигримового стана

Пилигримовая клеть имеет две станины закрытого типа в виде жестких прямоугольных рам. Валки установлены в текстолитовых вкладышах, вмонтированных в подушки. В последнее время применяют подшипники жидкостного трения. Регулировка нижнего валка по высоте производится прокладками, устанавливаемыми под подушки, или клиньями, а верхний рабочий валок перемещается двумя нажимными винтами, вращающимися от электро-двигателя через чер-

вячные передачи, размещенные вверху станин. Уравновешивание верхнего валка гидравлическое. Гильза подается специальным аппаратом (подающим), который в это же время кантует (поворот) ее на  $90^\circ$ . Таким образом, металл, находившийся в выпусках ручья предыдущего цикла, раскатывается при последующем цикле обработки.

Небольшой участок заднего конца гильзы остается непрокатанным, который отрезают на пилах после окончания прокатки и извлечения оправки (дорна) из трубы. В работе одновременно находится 10–15 дорнов.

На трехвалковом раскатном стане гильзу раскатывают на длинной подвижной оправке. Валки, равноудаленные один от другого и от оси прокатки, вращаются в одну сторону и придают задаваемой гильзе вращательное движение (рис. 4.9). Вследствие перекоса валков на угол подачи  $\beta = 5-8^\circ$  гильза получает дополнительно поступательное движение.

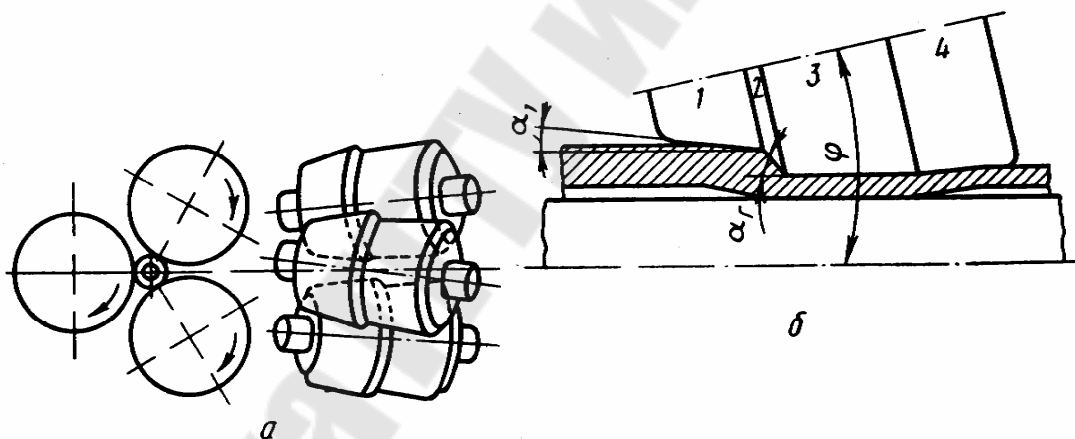


Рис. 4.9. Трехвалковый раскатной стан  
*а* – схема прокатки; *б* – продольный разрез очага деформации

Оси валков наклонены к оси прокатки и образуют угол  $\varphi \leq 7^\circ$ , который называют углом раскатки. При прокатке оправка вместе с трубой перемещается через очаг деформации. На валках трехвалкового раскатного стана можно выделить (по их назначению) четыре основных участка: конус захвата 1 с углом  $\alpha_1 = 2^\circ 30'-3^\circ$ , гребень 2 с углом наклона к оси; прокатки  $\alpha_2 = 42^\circ$ , раскатной или калибрующий конус 3 и выходной конус 4 (рис. 4.9, б).

После захвата валками гильза получает вращательное и поступательное движение, на конусе захвата происходит редуцирование

гильзы (уменьшение по диаметру) и обжатие стенки (примерно 20% суммарного обжатия). Основная деформация стенки (80% суммарного обжатия по стенке) осуществляется гребнем валка, при этом вытяжка равна 1,3–3,0. На следующем участке очага деформации – калибрующем конусе – происходят выравнивание толщины стенки и уменьшение овализации, в результате чего несколько увеличивается внутренний диаметр. Благодаря увеличению внутреннего диаметра образуется некоторый зазор между трубой и оправкой, что облегчает снятие трубы с оправки. Высота гребня валков или величина обжатия стенки трубы зависит от отношения диаметра прокатываемой трубы  $D$  к толщине стенки  $S$ . При  $D/S \geq 6,0$  высоту гребня принимают равной до 10 мм, при  $D/S \leq 6,0$  высота гребня равна 12,5 мм. На трехвалковом стане можно раскатывать только толстостенные трубы с отношением  $D/S \leq 11-12$ . При прокатке сравнительно тонкостенных труб ( $D/S > 12$ ) происходит потеря поперечной устойчивости трубы: поперечное сечение концов трубы превращается в треугольник, что приводит к прекращению процесса раскатки.

#### *Оборудование для редуцирования чистой трубы*

Прокатку труб для уменьшения их диаметра (редуцирование) весьма широко применяют при производстве горячекатаных труб, а также при изготовлении труб сваркой. Это объясняется тем, что получение труб малых размеров обычно связано с ощутимыми потерями производительности трубопрокатных или трубосварочных агрегатов и, следовательно, с удорожанием продукции. Кроме того, в некоторых случаях, например, прокатка труб диаметром менее 60–70 мм затруднена, так как требуются оправки слишком малого диаметра.

Редуцирование проводят после дополнительного нагрева (или подогрева) труб до 850–1100°C прокаткой их на многоклетевых непрерывных станах без применения оправки. В зависимости от принятой системы работы этот процесс может протекать с увеличением толщины стенки или с ее уменьшением. В первом случае прокатку ведут без натяжения трубы между клетями (или с очень незначительным натяжением), а во втором – с большим натяжением. Второй случай, как более прогрессивный, получил распространение в последнее десятилетие, так как при этом возможно значительно большее обжатие по диаметру, а благодаря уменьшению толщины стенки можно расширить сортамент прокатываемых труб более экономичными тонкостенными трубами. В промышленности эксплуатируются редуционные станы с двух- или трехвалковыми клетями.

Стан включает 20 клеток с индивидуальным приводом. Каждая последующая клетка относительно предыдущей расположена под углом  $90^\circ$ . Положение валков регулируется нажимными винтами. Кроме того, предусмотрена осевая регулировка валков для точного совмещения ручьев верхнего и нижнего валков. Мощность двигателя каждой клетки при работе с натяжением достигает 150 кВт.

Редуциционные станы с двухвалковыми клетями и индивидуальным приводом используют для редуцирования труб широкого сортамента (диаметром 17–80 мм). При этом используется исходная труба диаметром 80–110 мм и даже до 180 мм. Применение трехвалковых клеток обычно ограничивает верхний предел исходного диаметра труб 120 мм. Станы с двухвалковыми клетями (3–7 клеток) с групповым приводом используют как калибровочные, т. е. для небольшого уменьшения диаметра труб, только с целью повышения их точности.

#### 4.2 Оборудование для производства сварных труб

В настоящее время сварные трубы производят в основном печной сваркой и электросваркой из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

##### Агрегаты непрерывной печной сварки труб

Печной сваркой изготавливают водогазопроводные трубы диаметром 13,5–114 мм со стенкой толщиной 2–4 мм.

Процесс формовки и сварки штрипса в трубу на непрерывных станах печной сварки производится валками. Схема формовки штрипса в трубу показана на рисунке 4.10. Деформация (свертка) штрипса, начинающаяся на некотором расстоянии от формирующих валков – внеконтактная деформациягиба. Протяженность внеконтактной деформации зависит от ширины штрипса, с увеличением ширины штрипса она увеличивается. Второй участок деформации – это контактная деформациягиба. Здесь свертка штрипса продолжается в формирующих валках. Однако калибр этих валков заполняется неполностью. Угол обхвата штрипса равен  $220\text{--}270^\circ$ . Между кромками штрипса остается зазор, равный примерно 0,7 диаметра калибра. Во второй паре валков (сварочных) продолжается свертка штрипса до соприкосновения его кромок, уменьшение диаметра трубы (редуцирование) для создания необходимого давления на кромках и сварка.

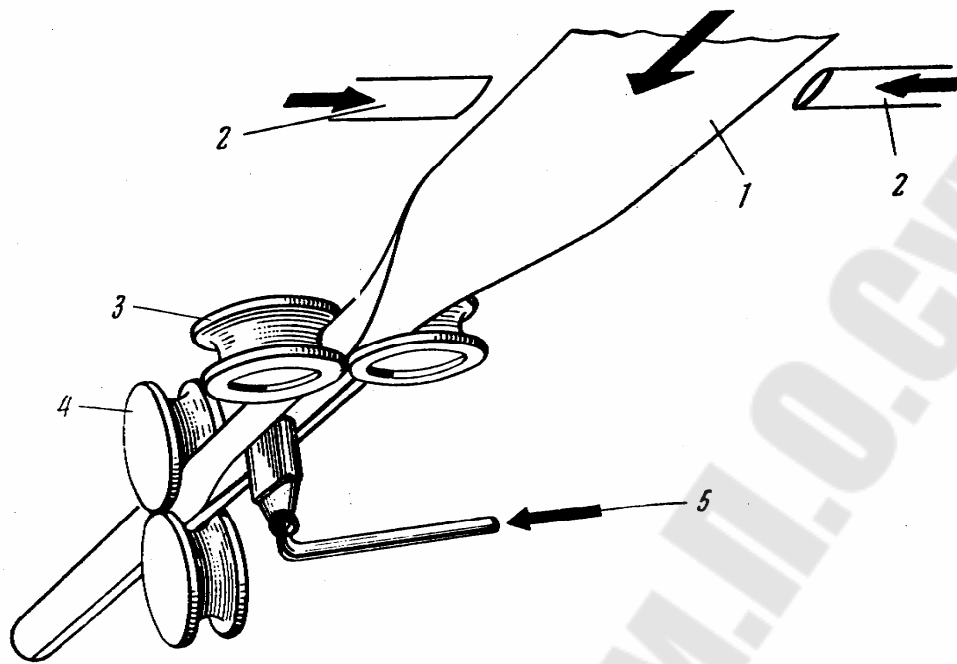


Рис. 4.10. Схема формовки штрипса в трубу при непрерывной печной сварке: 1 – штрипс; 2 – первичная обдувка воздухом кромок; 3 – вертикальные формующие валки; 4 – горизонтальные сварочные валки; 5 – вторичная обдувка воздухом кромок

Рассмотрим оборудование технологического процесса непрерывной печной сварки (рис. 4.11). Горячекатаный штрипс в рулонах *1* с помощью консольно-поворотного крана *2* устанавливают на разматыватель *3*. С разматывателя штрипс поступает для правки на роликосную правильную машину *4*. Каждый последующий рулон сваривают с концом предыдущего рулона (перед сваркой концы рулонов обрезают на ножницах *5*) на стыкосварочной машине *6*. Для обеспечения непрерывного процесса сварки труб во время сварки концов штрипса создают петлю между тянущими роликами, установленными за сварочной машиной и петлеобразователем *8*. За этим петлеобразователем образуют вторую петлю *9*, размер которой остается все время постоянным благодаря регулятору *10*. Этим создается постоянное натяжение штрипса при нагреве его в печи *11* туннельного типа. После нагрева производят формовку и сварку кромок штрипса на формовочно-сварочном стане *12*, состоящем из 6–12 клеток с вертикальными и горизонтальными валками. Выйдя из формовочно-сварочного стана, труба поступает далее на редукционный стан *13*. В зависимости от сортамента прокатываемых труб стан состоит из 10–14 клеток, в том числе 5–7 горизонтальных и 5–7 вертикальных.



Редукционный стан позволяет использовать штрипс одной ширины и из него получать трубы различного диаметра. Обжатие трубы по диаметру в каждой клетке 5–10%. Затем на калибровочном стане 14 производят калибровку трубы по наружному диаметру. Калибровочный стан состоит из трех клеток, из которых две крайние – горизонтальные, а средняя – вертикальная. Клетки формовочно-сварочного, редуцирующего и калибровочного станов унифицированы. Затем трубы разрезают на части летучей пилой 15, и они поступают на охлаждающий стол 16. После полного охлаждения на холодильнике трубы специальным распределительным устройством подают к станам холодной правки и далее на торцовку, гидравлическое испытание, нарезку концов, навертку муфт, окраску или оцинковку.

Производительность агрегатов непрерывной печной сварки труб достигает 55 т/ч. Исходным материалом для изготовления труб печной сваркой служит горячекатаный штрипс в рулонах массой 1300–4500 кг и длиной 100–300 м.

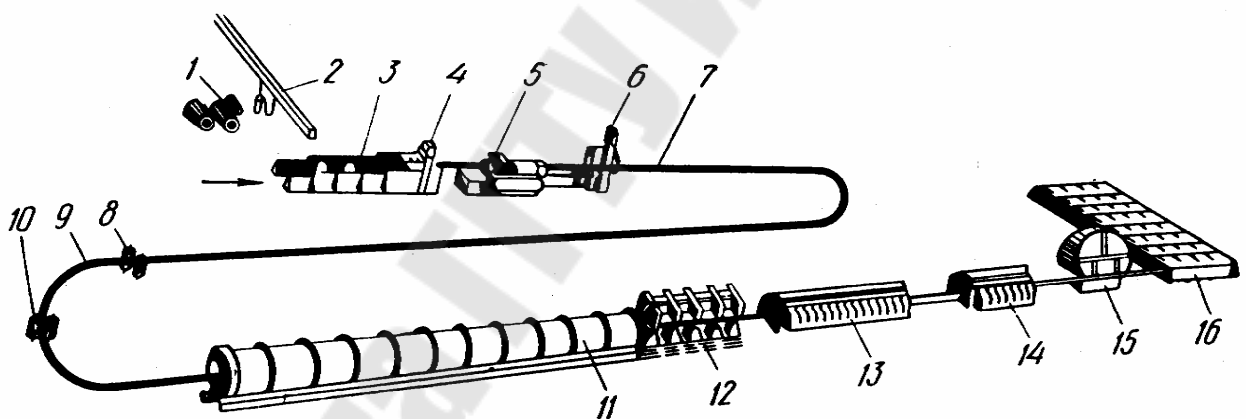


Рис. 4.11. Схема технологического процесса производства труб непрерывной печной сваркой

#### Контактная сварка труб

Основными технологическими операциями при производстве труб контактной электросваркой являются формовка трубной заготовки, сварка и редуцирование (калибровка) сваренной трубы. Эти технологические операции объединены в один цикл и проводятся непрерывно.

Формовку листа (штрипса) производят на непрерывных формовочных станках с горизонтальными и вертикальными валками. На этих

станах кромки сформованной в трубу заготовки нагреваются и свариваются. Далее производят редуцирование и калибровку трубы.

Станы контактной электросварки труб различают по способу нагрева кромок. На этих станах производят сварку:

- радиочастотную (ток радиотехнической частоты подводится контактным или индуктивным способом);
- сопротивлением переменным током (контактный подвод тока с частотой 150–450 гц)
- индукционную (токами высокой частоты);
- сопротивлением постоянным током;
- дуговым нагревом кромок неплавящимся электродом.

Контактной электросваркой с нагревом кромок сваривают трубы диаметром 6–630 мм и толщиной стенки 0,5–8 мм, используемые главным образом в качестве конструкционных (диаметром до 168–219 мм) и нефтегазопроводных (диаметром более 114 мм). В 60-х годах прошлого века получило широкое распространение производство сварных труб с использованием для нагрева металла токов радиотехнической частоты. Преимущества радиочастотной сварки – расширение диапазона свариваемых металлов и сплавов, значительное увеличение скорости сварки (до 120 м/мин), уменьшение грата, возможность сварки труб из горячекатаной полосы. Это сделало целесообразным перевод большого числа действующих трубоэлектросварочных станов на сварку токами высокой частоты. Большинство из вновь введенных в эксплуатацию трубосварочных установок имеют высокочастотное сварочное оборудование. Применение тока частотой 450–500 кГц для сварки труб основано на том, что ток при этой частоте идет не по пути наименьшего омического сопротивления, а наименьшего индуктивного сопротивления.

Ток высокой частоты подводится к кромкам трубной заготовки двумя способами: контактным и индукционным. На рисунке 4.12 показаны схемы с контактным (а) и индукционным (б) подводом тока высокой частоты. Для увеличения индуктивности цепи периметра заготовки с целью концентрации тока в кромках заготовки внутрь заготовки вводят ферромагнитный (ферритовый) сердечник.

При радиочастотной сварке труб электрический ток, проходящий по кромкам трубной заготовки, благодаря эффекту близости и поверхностному эффекту концентрируется непосредственно на соединяемых поверхностях. С увеличением частоты тока эффект близости и поверхностный эффект усиливаются, вследствие чего на кром-

ках трубной заготовки достигается максимальная концентрация тока. Сварка труб токами радиотехнической частоты характеризуется высокой степенью концентрации энергии при нагреве металла, который происходит за десятые или даже сотые доли секунды.

При радиочастотной, индукционной сварке и сварке сопротивлением используют одно и то же оборудование, за исключением сварочного узла, и технология получения электросварных труб включает одни и те же операции.

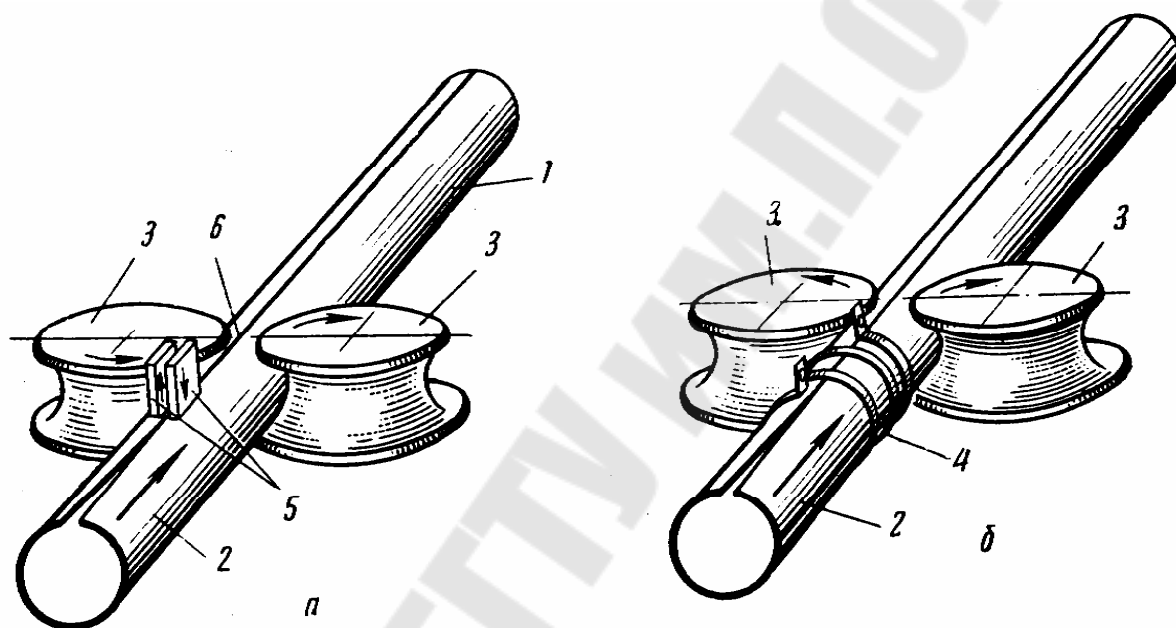


Рис. 4.12. Схема подвода тока высокой частоты к кромкам трубной заготовки: 1 – сваренная труба; 2 – сформованная заготовка; 3 – сварочные валки; 4 – индуктор; 5 – скользящий контакт; 6 – место сварки

Электросварные трубы производят в поточной линии агрегатов (рис. 4.13). Все агрегаты стана по характеру технологических операций сгруппированы на трех основных участках:

- 1) подготовительной линии;
- 2) формовки, сварки и калибровки;
- 3) отделки труб.

С разматывателя 1 лента с помощью тянущих роликов 2 поступает для правки на семи или девятироликовые лентопрямительные машины 3. Передний конец выправленной ленты подается в гильотинные ножницы 4, где обрезаются смежные концы двух рулонов для ровного стыка их при сварке. Вслед за гильотинными ножницами ус-

тановлена стыкосварочная машина 5 для контактной сварки оплавлением. На этой машине задний конец предыдущего рулона ленты сваривается с передним концом последующего рулона. Вслед за сварочной машиной размещен петлеобразователь 6 с передними и задними тянущими роликами. Создавая запас ленты определенной длины, петлеобразователь обеспечивает непрерывную работу формовочного и сварочного станов в период стыковки концов рулонов.

После выхода из петлеобразователя полоса подается в дисковые ножницы 7, где обрезаются кромки в точном соответствии с требуемой расчетной шириной. Для обработки кромок применяется дробеструйная установка 8. На участке формовки, сварки и калибровки труб выполняются следующие технологические операции: формовка подготовленной ленты в трубную заготовку на непрерывном формовочном стане 9–11, сварка трубной заготовки в сварочном узле стана 12 и 13, удаление наружного грата 14, калибровка трубы по наружному диаметру 15, 16, правка 17 и разрезка на мерные длины 18.

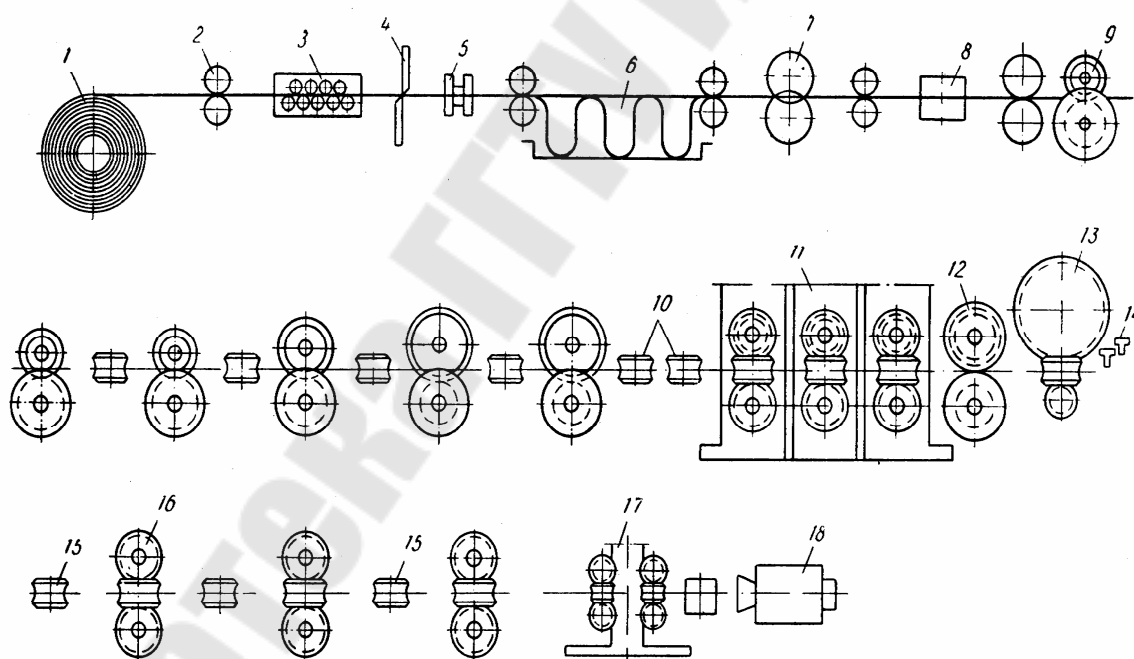


Рис. 4.13. Схема технологического процесса производства электросварных труб

Формовочный стан состоит из последовательно расположенных клеток с горизонтальными валками. В зависимости от размера свариваемых труб стан имеет от 5 до 12 клеток с горизонтальными валками, приводимыми во вращение от общего привода. Только станы, для

получения труб большого диаметра (159–529 мм) имеют индивидуальный привод. Между клетями с горизонтальными валками устанавливают вертикальные неприводные валки.

Все разнообразие калибровки валков формовочных станов определяется различными комбинациями ее основных четырех типов, показанных на рисунке 4.14.

Индукционную сварку труб применяют для производства водопроводных и конструкционных труб диаметром от 21,5 до 219 мм (от 1/2 до 8"). Для нагрева кромок трубной заготовки используют прямолинейные индукторы с магнитопроводами, предназначенными для концентрации магнитного потока. Принципиальная схема индукционной сварки показана на рис. 4.15. Кромки трубной заготовки проходят в непосредственной близости к индуктору и нагреваются до сварочной температуры. Магнитный поток (на рис. 4.15 показан стрелками), создаваемый током индуктора, пересекает трубную заготовку перпендикулярно ее поверхности. Ток, индуцируемый в трубной заготовке, протекает вдоль ее кромок. Ток не проходит через стык кромок, поэтому создается возможность изготавливать индукционной сваркой трубы из горячекатаной полосы с катаными кромками без специальной обработки ее поверхности и торцов. Частота тока 2–8 кГц, скорость сварки достигает 60 м/мин.

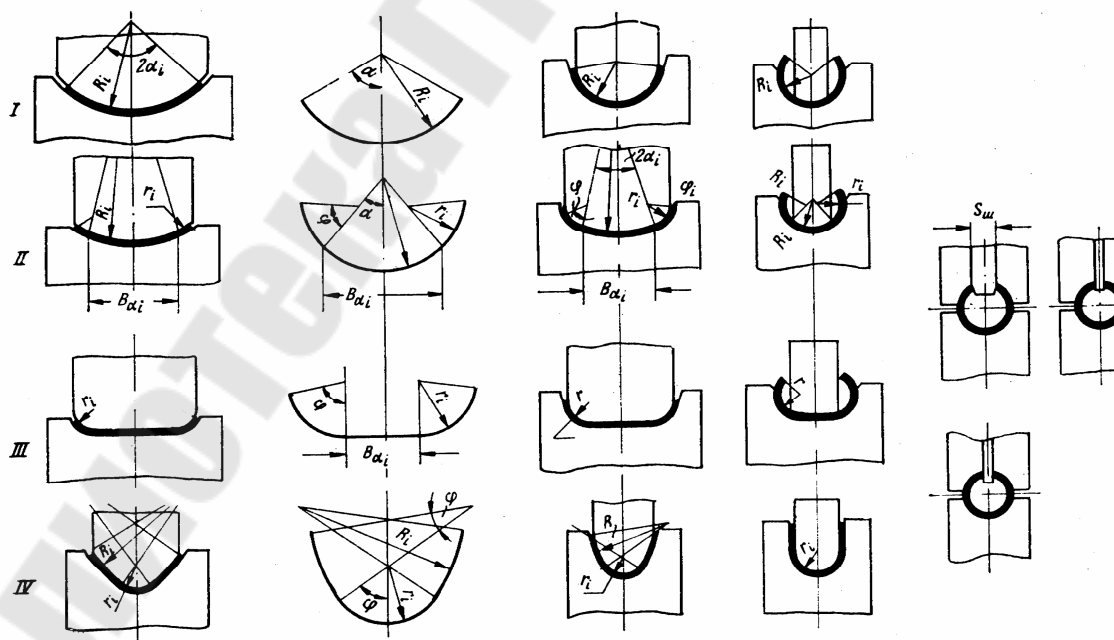


Рис. 4.14. Основные типы калибровок валков формовочных станов

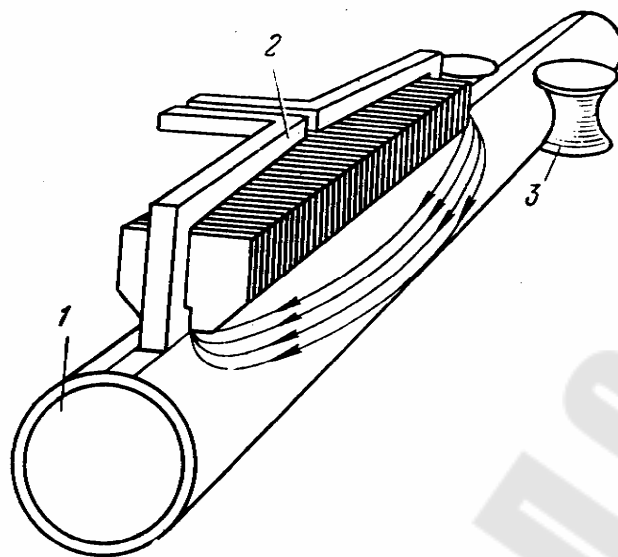


Рис. 4.15. Принципиальная схема индукционной сварки труб:  
1 – сформованная заготовка; 2 – линейный индуктор с магнитопроводами; 3 – сварочные валки

После сварки на линии стана снимают наружный грат устройством резцового типа. Внутренний грат удаляют только после контактной сварки сопротивлением оправкой (с резцом или роликом). После удаления грата труба охлаждается в специальных водяных холодильных установках и поступает на калибровочный стан, который обычно состоит из 3–4 клеток с горизонтальными валками и трех пар клеток с вертикальными валками.

На современных трубосварочных станах широко применяют редуцирование труб. Поэтому вместо калибровочных устанавливают редуционно-калибровочные станы с числом клеток до 26.

Выходящую из стана трубу разрезают на мерные длины. Дальнейшая обработка труб производится на участке отделки, где трубы подвергают правке на трубоправильном стане, торцовке концов на торцовочных станках, испытанию на гидравлических прессах и, если необходимо, термической обработке.

#### Агрегаты дуговой сварки труб большого диаметра

Дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом производят трубы диаметром 426–1220 мм, толщиной стенки 3–13 мм и длиной 6–12 м, а со спиральным швом – диаметром 426–2500 мм, толщиной стенки 3–15 мм и длиной 12–18 м.

При изготовлении труб дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом в качестве исходной заготовки применяют горячекатаную

листовую сталь мерной длины (6–12,5 м), а со спиральным швом – горячекатаную листовую сталь в рулонах.

Технологический процесс изготовления прямошовных труб большого диаметра состоит из трех стадий: подготовки и формовки листа, сварки труб и их отделки (рис. 4.16). Со склада металла пакет листов подают мостовым краном на стеллажи листоукладчика, расположенные по обеим сторонам приемного рольганга (такое расположение их позволяет во время работы одного стеллажа укладывать листы на другой стеллаж). Магниты кран-балки снимают со стеллажей из стопы по одному листу и опускают его на ролики рольганга, которыми лист задается в девятивалковую правильную машину 1. После правки лист поступает на транспортер первого кромкострогального станка 2. На этом станке придают параллельность продольным кромкам листа. По выходе из первого кромкострогального станка лист транспортером передается во второй кромкострогальный станок, который снимает с каждой стороны листа по 4 мм припуска, придает листу точную ширину и скашивает продольные кромки под углом  $45^\circ$ ; с нижней стороны листа оставляется притупление на 4–5 мм. В случае необходимости обрезают передний и задний концы листов на гильотинных ножницах 3 с нижним резом, имеющих усилие 0,60 МН (60 тс). Затем лист поступает в дробеметную установку 4, где продольные кромки очищают от окалины на ширине около 70 мм одновременно с верхней и нижней сторон. Зачистка кромок производится струей чугуновой дроби.

После этого лист задается рольгангом на трехклетевой валковый кромкогибочный стан 5. На стане совершается подгибка кромок листа по радиусу, близкому к радиусу готовой трубы.

Лист корытообразной формы двухленточным транспортером подается в гидравлический пресс 6 предварительной формовки усилием 5–20 МН (500–2000 тс), в котором ему придается U-образная форма за один ход траверсы. Затем эта заготовка рольгангом задается в пресс 7 усилием 60–170 МН (6000–17000 тс) для окончательной формовки.

С рольгангов-аккумуляторов трубная заготовка передвигным рольгангом передается на приемный рольганг непрерывных станков 8 наружной сварки труб, расположенных в три линии. Каждый стан состоит из пяти двухвалковых клеток (две с вертикальными и три с горизонтальными валками) и одной сварочной. Сварочная клетка, находящаяся под сварочной головкой, удерживает кромки. Внутри свароч-

ваемой трубы (рис. 4.17) помещена оправка с установленным на ней башмаком. Медные пластины башмака образуют гусеницу, которая поджимает в процессе сварки жидкую ванну с внутренней стороны и препятствует протеканию металла. Сварка ведется двумя дугами, горящими в одну ванну. Электроды установлены под углом  $60^\circ$  к образующей трубы. Наружную сварку ведут со скоростью 160 м/ч под слоем флюса марки АН-60 (49% марганцевой руды, 38% кварцевого песка, 13% плавикового шпата).

После окончания наружной сварки к переднему и заднему концам трубы приваривают планки, которые предназначены для зажигания дуги и окончания процесса сварки. Затем трубы поступают на один из пяти станов *10* для наложения внутреннего шва. Затем концы труб обрезают на станке *11*. После этого по транспортному рольгангу они поступают к станкам *12* для зачистки сварочных швов на их концах (с наружной и внутренней сторон).

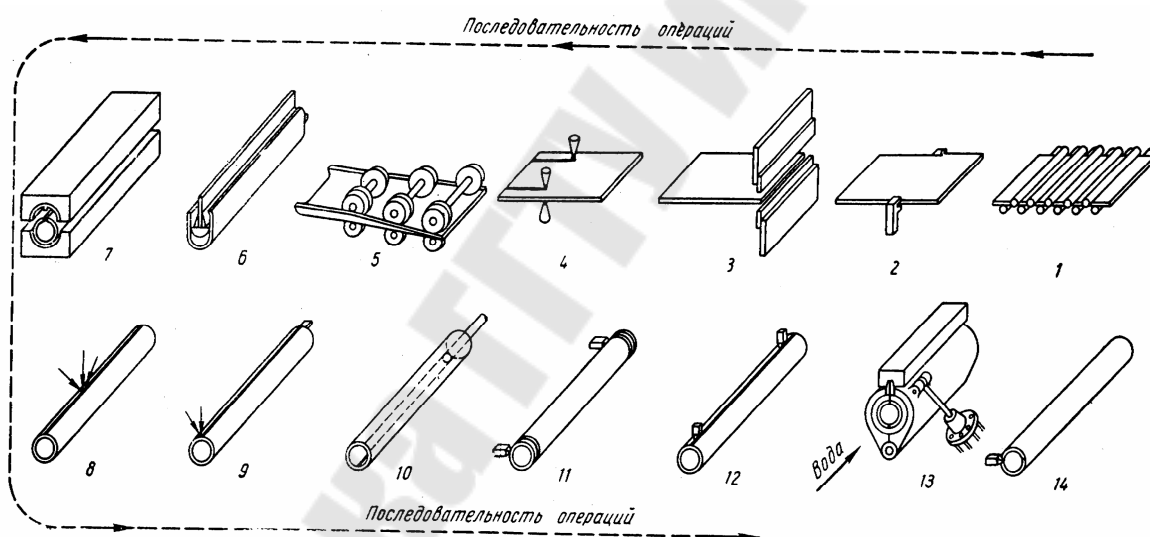


Рис. 4.16. Схема технологического процесса производства Прямошовных труб дуговой сваркой

На комбинированном гидравлическом прессе-экспандере *13* производят целый комплекс операций: калибровку, правку и упрочнение, а также раздачу трубы внутренним гидравлическим давлением и гидравлическое испытание трубы. Давление экспандирования находится в пределах  $8\text{--}15\text{МН/м}^2$  (80–150 атм). Такой пресс является наиболее надежной машиной для испытания качества сварного шва. Окончательная технологическая операция – снятие фасок с торцов труб на труборезных станках *14*.



Рассмотренную технологию применяют и для производства прямошовных труб из двух листов путем формовки их на прессах с последующей сваркой.

Спиральная сварка позволяет использовать лист одной ширины для производства труб различного диаметра. Перевод стана спиральной сварки для изготовления труб другого диаметра требует минимального времени. Длина получаемых труб практически не ограничена. Непрерывность процесса, минимальные производственные площади, небольшое число обслуживающего персонала невысокая производительность труда сделали этот способ сварки наиболее прогрессивным для получения труб большого диаметра. Трубы обладают высокой конструктивной прочностью – на 20–40% выше прямошовных. Станы спиральной сварки труб высоко мобильны и могут быть установлены непосредственно на строительной площадке. Спиральной сваркой могут быть изготовлены трубы с отношением  $D/S \geq 100$ . К недостаткам спиральной сварки следует отнести большую протяженность сварного шва и меньшую скорость сварки.

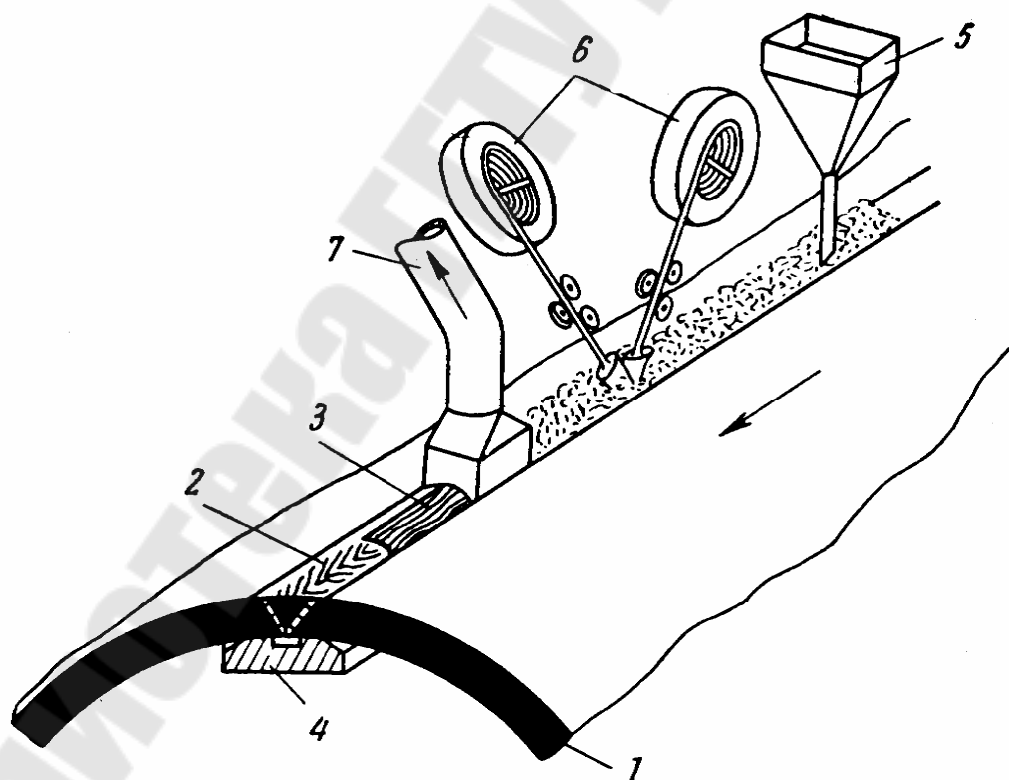


Рис. 4.17. Схема сварки труб под слоем флюса:

- 1 – труба; 2 – сварной шов; 3 – шлак; 4 – медный башмак; 5 – подача флюса; 6 – сварочные головки; 7 – отсос избыточного флюса

Формовка трубной заготовки осуществляется путем пластического изгиба полосы в плоскости, расположенной под некоторым углом  $\alpha$  к продольной оси листа (рис. 4.18).

Ширина ( $B$ ) полосы, свернутой в спираль под углом  $\alpha$ , в зависимости от диаметра трубы ( $D$ ) равна  $B = \pi D \cdot \sin \alpha = L \cdot \sin \alpha$ , где  $L$  – периметр трубы по спирали.

Изгиб полосы и последующая навивка ее по спирали совершается в специальном формующем устройстве. Угол спирали  $\alpha = \arcsin B/\pi D$ .

В практике угол  $\alpha$  изменяется в пределах  $18\text{--}50^\circ$ . Формующее устройство смонтировано на опорно-поворотной раме, поворотом которой устанавливают угол формовки относительно центра вращения. На опорно-поворотной раме, кроме формующего устройства, находятся: направляющий люнет для удержания выходящей из формующего устройства трубы, сварочная аппаратура и летучий отрезной станок.

Лист прокатывают на непрерывных станах 1700. На станы спиральной сварки труб он поступает в рулонах массой  $8\text{--}15$  т.

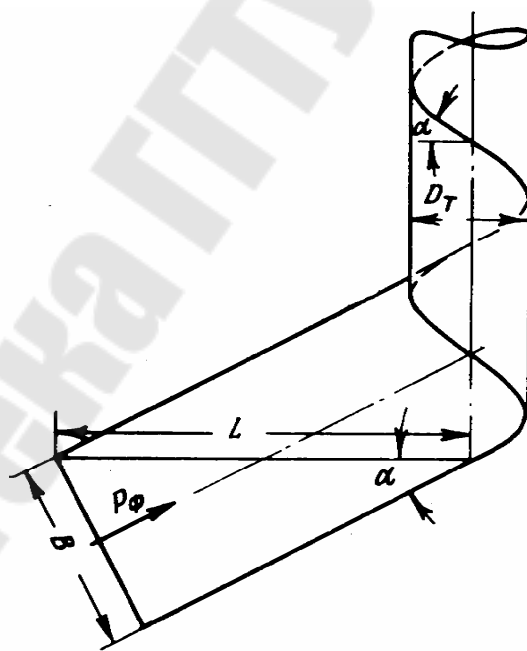


Рис. 4.18. Схема формовки трубной заготовки при спиральной сварке трубы

Со склада рулоны подают на приемный рольганг разматывателя. С помощью подающих роликов лист задается в девятивалковую пра-

вильную машину. После правки лист поступает для поперечной резки на ножницы гильотинного типа. Стыковка концов двух полос совершается на стыкосварочной машине. При этом задний конец предыдущей полосы удерживается подающими роликами, расположенными за стыкосварочной машиной,

Тянущие ролики могут перемещаться в направлении, перпендикулярном продольной оси листа для совмещения стыкуемых полос. Передний конец последующей полосы зажимается в стыкосварочной машине. После совмещения стыков происходит сварка концов. Затем тянущие ролики заполняют петлевую яму ускоренной подачей. Полоса вытягивается из петлевой ямы, протягивается через неприводные дисковые ножницы и подается в формирующее устройство подающей машиной. При этом необходимое давление на ролики между тянущими роликами создается гидравлическими цилиндрами. Перед подающей машиной и после полоса удерживается роликовыми проводками или плитами.

#### Станы производства холоднодеформированных труб

Холоднодеформированные трубы, изготавливаемые холодной прокаткой и волочением из горячекатаной, сварной или прессованной трубной заготовки, отличаются высокой точностью размеров и хорошим качеством поверхности.

Обычно холодной прокаткой и холодным волочением получают стальные трубы диаметром 1,0–200 мм и толщиной стенки 0,1–12 мм. В некоторых случаях применяют холодную прокатку труб значительно большего диаметра (до 250–450 мм) и холодное волочение труб диаметром до 0,3 мм. Трубы из цветных металлов и сплавов холодной прокаткой и волочением изготавливают диаметром 0,35–360 мм и толщиной стенки 0,05–10,0 мм, а также фасонные трубы: овальные, квадратные, восьмигранные, звездообразные, ребристые и др.

Холодную прокатку тонкостенных труб производят на станах периодического действия, сокращенно называемых станами ХПТ. Процесс холодной прокатки труб аналогичен процессу горячей пилигримовой прокатки. Холодную прокатку, ведут двумя рабочими валками, которые вместе с рабочей клетью совершают возвратно-поступательное движение (при горячей пилигримовой прокатке рабочая клеть неподвижна, а гильза совершает возвратно-поступательное движение), при этом валки одновременно совершают и возвратно-качательное движение (рис. 4.19). В валках закреплены сменные калибры, имеющие ручей переменного сечения. Очаг деформации при-

ближенно можно представить как усеченный конус, диаметры оснований которого равны диаметрам заготовки и готовой трубы, а высота (длина) конуса равна ходу валков. Усеченный конус – это развертка ручья калибров. Прокатку ведут на неподвижной конической оправке. Когда валки находятся в крайнем левом положении I (заднее положение), заготовка подается на величину  $m = 3-25$  мм (в зависимости от сортамента и режимов деформации), в крайнем правом положении валков II (переднее положение) происходит только поворот трубы на угол  $60-90^\circ$ . Стан ХПТ состоит из рабочей клетки, главного привода, механизмов подачи и поворота трубы, системы смазки и управления.

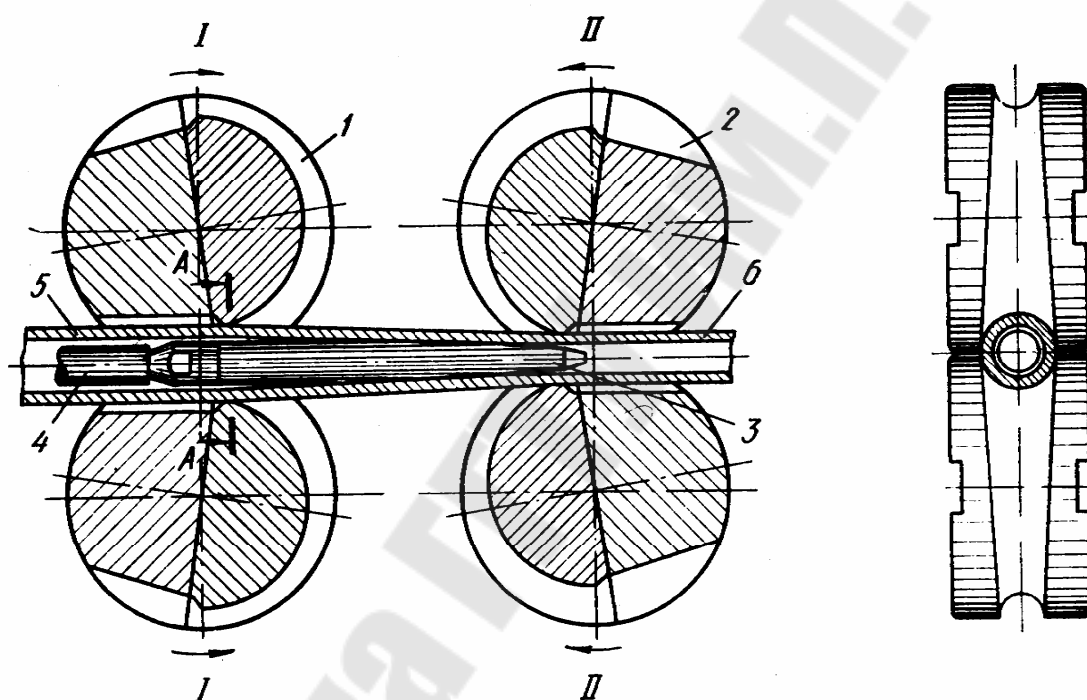


Рис. 4.19. Схема холодной прокатки трубы на стане ХПТ:  
 1 – калибр; 2 – валок; 3 – оправка; 4 – стержень; 5 – заготовка;  
 6 – труба

Типоразмер стана обозначают по максимальному наружному диаметру прокатываемой трубы. В настоящее время эксплуатируют станы следующих типоразмеров: ХПТ32, ХПТ55, ХПТ75, ХПТ90, ХПТ120 и ХПТ250.

## ТЕМА 5 ОБОРУДОВАНИЕ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

### 5.1 Определения и классификация оборудования прокатных цехов

*Современный прокатный стан* — это комплекс машин и механизмов, предназначенный для осуществления прокатки металла и его дальнейшей обработки.

Различают основное и вспомогательное оборудование прокатного стана (рис.5.1).



Рис. 5.1. Классификация оборудования прокатного стана

По виду выпускаемой продукции прокатные станы делятся на:  
– обжимные станы (блуминги и слябинги), на которых из слитков получают полупродукт — катаные блюмы и слябы;

- заготовочные станы, производящие из блюмов заготовки для сортовых, проволочных и трубных станов;
- рельсобалочные;
- сортовые;
- проволочные, служащие для прокатки катанки (круглой заготовки для проволоки) диаметром 5—13 мм;
- листопрокатные;
- трубные;
- станы специального назначения (для прокатки шаров, колец, шестерен и др.)

*Основное оборудование* прокатного стана предназначено для выполнения главной операции — деформации металла между вращающимися валками и включает рабочие клетки с приводом.

*Вспомогательное оборудование* составляют машины и агрегаты для выполнения вспомогательных операций, таких как: нагрев, транспортировка, кантовка, охлаждение, правка, резка на мерные длины, сматывание в бунты или рулоны, отделка, термическая обработка, маркировка и клеймение, упаковка, подача на склад готовой продукции.

К вспомогательному оборудованию относятся:

- *транспортирующие механизмы*, обеспечивающие перемещение исходных материалов, полупродукта и готового металлопроката (мостовые краны, рольганги, транспортеры, подъемные столы, опрокидыватели, толкатели и т.д.);

- *обрабатывающие механизмы*, работа которых связана с проведением операций, не относящихся непосредственно к деформации металла, но технологически необходимых для последующей его обработки (печи, ножницы, моталки, разматыватели, правильные машины, травильные агрегаты, машины для обвязки и упаковки проката и т.д.).

За *основной параметр* сортовых станов принимают диаметр, а у листовых станов – длину бочки рабочего валка. Если в стане несколько клеток, то параметром всего стана в целом является размер валков последней чистовой клетки.

Например, "мелкосортный стан 320" означает, что диаметр бочки рабочих валков чистовой клетки стана равен 320 мм.

*Основное оборудование - главная линия прокатного стана*

Линия, по которой располагают основное оборудование, называется *главной линией прокатного стана*.

Главную линию одноклетьевого стана образует одна рабочая клеть с приводом прокатных валков.

Главную линию многоклетьевого стана образуют несколько расположенных в определённом порядке рабочих клеток.

Современные прокатные станы обычно имеют главные линии двух типов: с индивидуальным и групповым приводом.

Главная линия с приводом каждого валка от персонального электродвигателя (рис.5.2) включает два электродвигателя (для двухвалковых клеток) 1, которые через шпиндели 2, передают вращательное движение валкам 3 рабочей клетки 4.

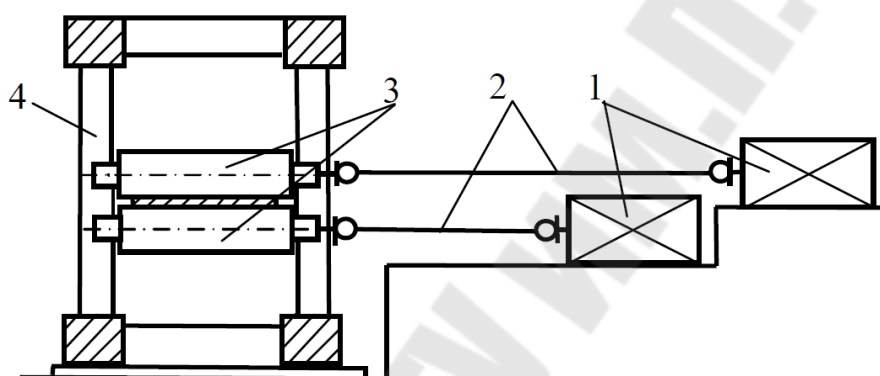


Рис. 5.2. Главная линия с индивидуальным приводом

*Достоинства* – хорошие динамические качества из-за малого момента инерции деталей привода, меньшая стоимость механического оборудования и возможность отдельного регулирования скорости каждого валка, что иногда требуется технологией.

*Недостатки* – большая стоимость электрооборудования и необходимость электрической синхронизации вращения валков, что требуется технологией прокатки в чистовых клетях.

Главная линия с приводом группы валков от одного электродвигателя (рис.5.3) включает один электродвигатель 1, моторную муфту 2, шестеренную клетку 3, шпиндели 4 и рабочую клетку 5. Название этого варианта происходит из-за того, что один двигатель вращает несколько (группу) валков.

Динамические качества этого варианта хуже, поскольку шестеренные клетки имеют очень большой момент инерции. Стоимость электрооборудования меньше, а механического – больше, чем при индивидуальном приводе.

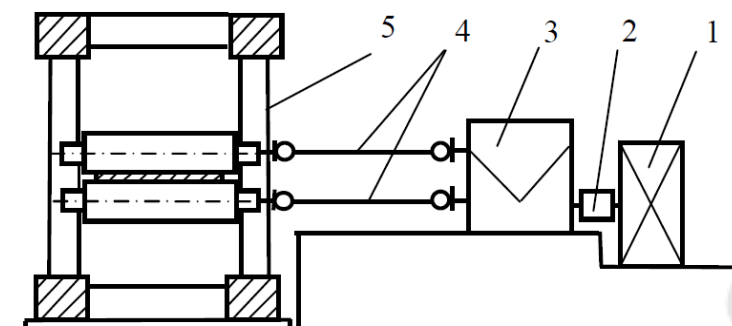


Рис. 5.3. Главная линия с групповым приводом

Отсутствует возможность отдельного регулирования скорости валков. Но там, где нужно иметь строго одинаковые скорости валков, этот вариант предпочтителен.

## 5.2 Рабочие клетки

*Рабочая клетка* – основной механизм главной линии прокатного стана, в котором осуществляется пластическая деформация вращающимися валками. Несмотря на огромное разнообразие конструкций, все рабочие клетки устроены похожим образом и состоят из аналогичных деталей и узлов (рис 5.4).

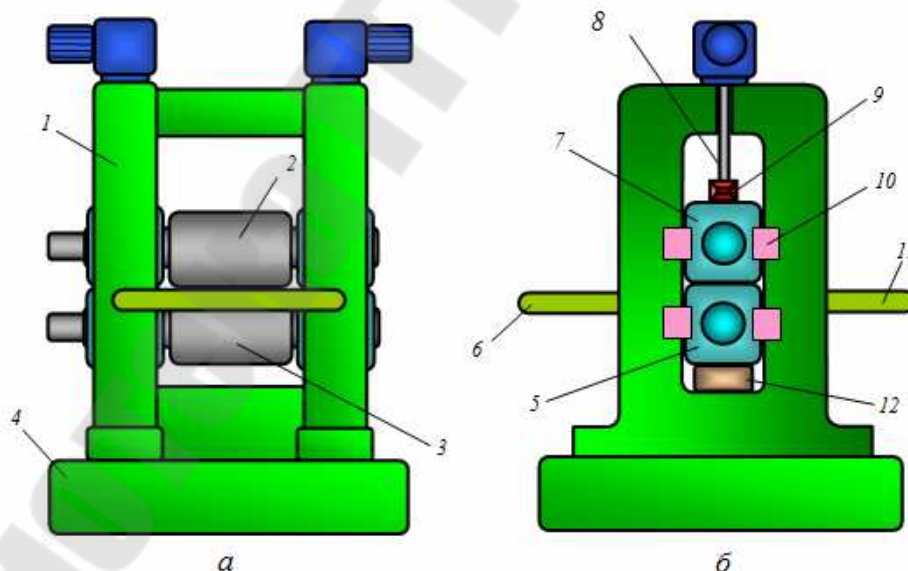


Рис. 5.4. Рабочая клетка: *а* — вид спереди; *б* — вид сбоку; 1 — станина; 2, 3 — верхний и нижний рабочие валки; 4 — плитовина; 5, 7 — нижняя и верхняя подушки; 6, 11 — входной и выходной столы с линейками для монтажа привалкой арматуры; 8 — нажимное устройство; 9 — предохранительное устройство; 10 — устройство осевой установки и фиксации валков; 12 — устройство установки нижнего валка



### Узлы рабочей клетки

Рабочие клетки состоят из следующих основных узлов и механизмов:

1) Валкового комплекта, включающего валки 1 (рабочие и опорные), подшипники валков 2, подушки 3 (корпусов подшипников). Иногда в валковый комплект входят гидроцилиндры уравнивающего устройства или системы противоизгиба валков (рис. 5.5).

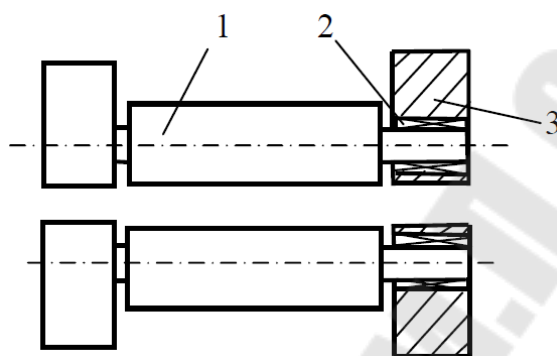


Рис. 5.5. Валковый комплект

2) Станины клетки, состоящей из двух станин (левой 1 и правой 2 по ходу технологической линии) и соединяющих их траверс 3 или шпилек 4 (рис. 5.6). Станины – это массивные рамы, воспринимающие все усилия, возникающие при прокатке, в проемах которых устанавливаются подушки валков.

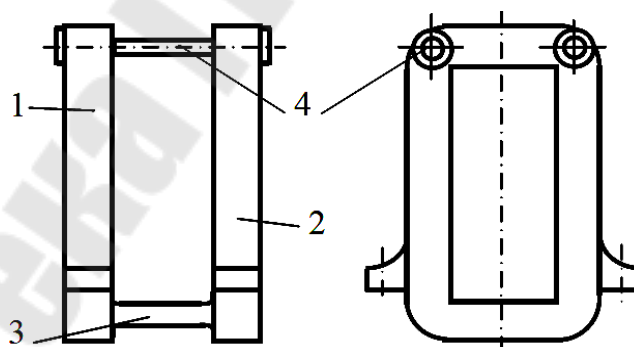


Рис. 5.6. Станина клетки

3) Нажимного механизма и уравнивающего устройства, которые разно-образны по конструкции, но совместно выполняют одну и ту же функцию – изменение раствора валков в паузах между проходами и поддержание его постоянства – во время проходов. Иногда (для изменения толщины полосы) нажимные механизмы изменяют раствор валков и во время прокатки.

4) Механизма осевой регулировки и фиксации валкового блока,

который обеспечивает требуемую установку валков в горизонтальной плоскости относительно друг друга и станин и удержание их в этом положении при прокатке.

5) Привалковой арматуры – линеек, проводок, проводковых брусьев, ножей – для придания раскатам требуемого положения при входе и выходе из валков.

6) Плитовин – массивных линеек, на которые устанавливается клеть с целью уменьшения удельной нагрузки на фундамент.

Кроме вышперечисленных основных механизмов и узлов, рабочие клетки оснащаются различными вспомогательными устройствами:

- системой охлаждения валков или подачи технологической смазки;
- гидросбивом окалины и системой ускоренного охлаждения раскатов при прокатке;
- системами гидроизгиба валков для уменьшения разнотолщинности листов и полос;
- датчиками усилия прокатки – месдозами или тензometрами;
- системой централизованной подачи смазки ко всем механизмам и узлам клетки.

### **5.3 Валки рабочих клеток**

Валки рабочих клеток подразделяются на *рабочие* и *опорные*.

*Рабочие валки* – инструмент прокатного производства, непосредственно осуществляющий пластическую деформацию металла в горячем или холодном состоянии.

Проходя между рабочими валками, металл обжимается (уменьшается высота поперечного сечения проката) и вытягивается (увеличивается длина проката), приобретая при этом требуемую форму и размеры. В результате такой деформации улучшается структура металла.

Рабочие валки воспринимают усилие прокатки и передают его на подшипниковые опоры, нажимные механизмы станины рабочей клетки.

Рабочие валки классифицируются:

- по назначению:
  - а) сортовые;
  - б) листовые.
- по материалу:

- а) стальные;
- б) чугунные.
- в) из твердого сплава.
- по твердости:
  - а) мягкие  $HV < 270$ ;
  - б) полутвердые  $HV = 270-420$ ;
  - в) твердые  $HV = 420-600$ ;
  - г) сверхтвердые, твердость по Шору  $> 100$  единиц.
- по конструкции:
  - а) цельные гладкие;
  - б) цельные профилированные;
  - в) бандажированные;
  - г) валковые шайбы.

Прокатный валок в общем случае состоит из 3-х основных частей: бочки 1 (гладкой или с ручьями калибров), двух цапф для установки подшипников, которые называются шейками 2 и приводного конца 3 (рис.5.7).

Определяющими размерами рабочего валка являются его диаметр  $D_B$  и длина бочки  $L_б$ . Диаметр выбирается исходя из необходимости обеспечить естественный (без заталкивания) захват металла, прочность валков и их жесткость.

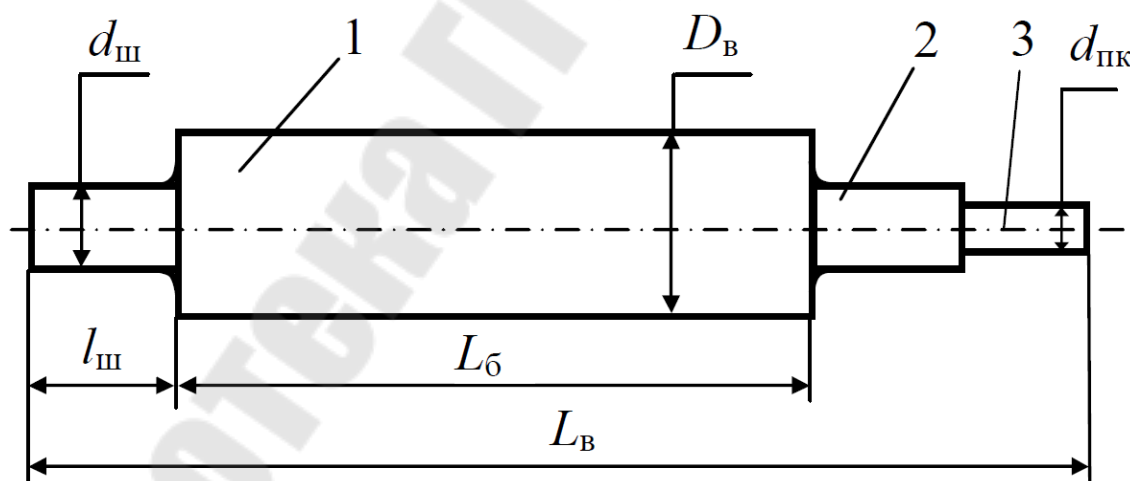


Рис. 5.7. Прокатный валок

У валков с калибрами (рис.5.8) под  $D_B$  понимается расстояние между осями валков при прокатке (у блюмингов – в последнем проходе). Поэтому у них  $D_B$  всегда больше фактического, т.н. катающего диаметра  $D_K$ . Обычно  $D_B \geq 1,4D_K$ .

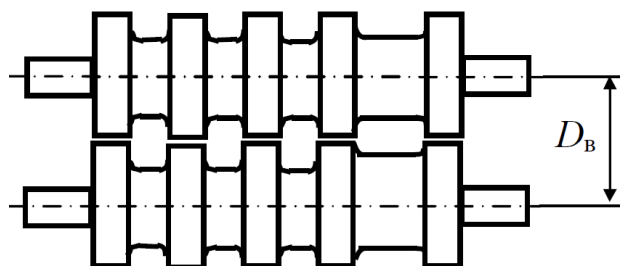


Рис. 5.8. Валки с калибрами

По конструкции рабочие валки бывают: цельными гладкими, цельными профилированными, бандажированными и валковыми шайбами (рис. 5.9).

Опорные валки обеспечивают прочность и жесткость валковой системы.

У опорных валков обычно приводного конца нет, поскольку привод осуществляется через рабочие валки. Только у станков холодной прокатки с малыми диаметрами рабочих валков приводными приходится делать опорные валки.

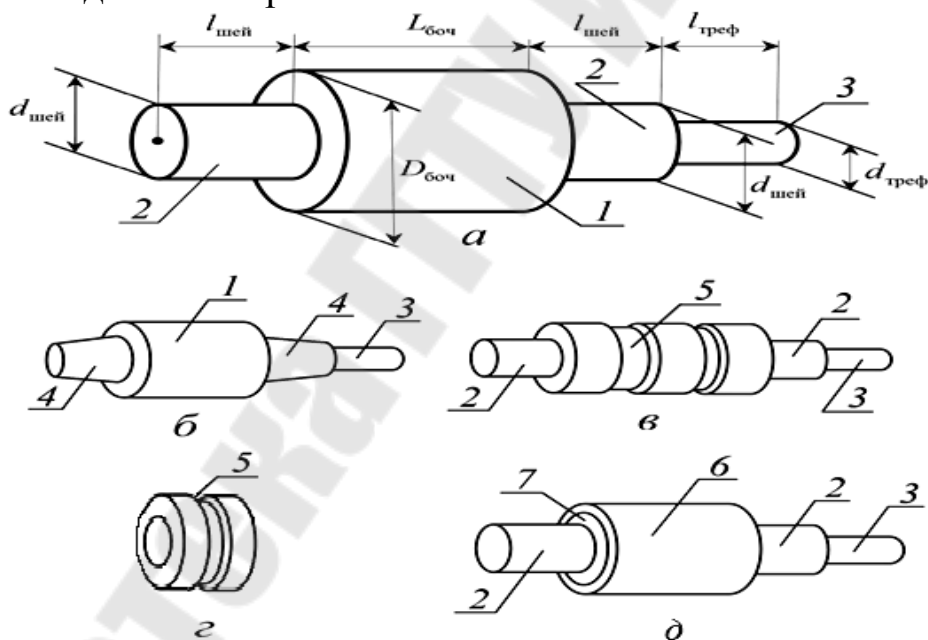


Рис. 5.9. Виды рабочих валков:

*a* — цельный гладкий с цилиндрическими шейками; *б* — цельный гладкий с коническими шейками; *в* — цельный профилированный; *г* — валковая шайба; *д* — бандажированный; *1* — гладкая бочка; *2* — цилиндрическая шейка; *3* — цилиндрический приводной конец; *4* — коническая шейка; *5* — ручей; *6* — бандаж; *7* — ось

### 5.3.1 Элементы валков

#### Бочка валка

Бочка — рабочая часть валка, деформирующая прокатываемый металл. На бочке профилированного валка имеются ручки.

#### 1) Диаметр бочки рабочего валка

Диаметры бочек выбирают с учетом допустимого угла захвата прокатываемой заготовки (полосы) рабочими валками  $\alpha_{зг}$  (при прокатке сортового металла:  $\alpha_{зг} = 22...24^\circ$ ).

У *сортопрокатных станов* номинальный диаметр бочки  $D_B$  является основным параметром валков. Диаметр бочки по дну ручья  $D_{боч.руч}$  должен удовлетворять следующему условию:

$$D_{боч.руч} \geq \frac{\Delta h_{зг}}{1 - \cos \alpha_{зг}}, \quad (5.1)$$

где  $\Delta h_{зг}$  — максимально необходимое обжатие прокатываемой заготовки;  $\alpha$  - угол захвата, рад.;  $\alpha = \arctg(f_{гп})$ ,

Отношение номинального диаметра бочки к ее диаметру по дну ручья  $D_{боч}/D_{боч.руч}$  принимают не более 1,4 во избежание слишком большого снижения точности.

У *листовых станов*  $D_B$  ограничивается сверху условием т.н. «выкатки», т.е. получения минимальной толщины полосы с учетом сплющивания валков.

По опытным данным:

- при прокатке с натяжением:  $D_B < (1500...2000) h_{\min}$ ;
- при прокатке без натяжения:  $D_B < 1000 h_{\min}$ ,

где  $h_{\min}$  — минимальная толщина прокатываемой полосы.

При конструировании валков стремятся делать  $D_B$  минимальными, т.к. это уменьшает усилия и моменты прокатки, габариты и массу валков, что снижает их стоимость.

#### 2) Длина бочки рабочего валка

Длина бочки  $L_б$  сортового валка определяется его калибровкой:

- у блюмингов —  $L_б = (2,2...2,7) D_B$ ;
- в черновых клетях —  $L_б = (2,2...3,0) D_B$ ;
- в чистовых клетях —  $L_б = (1,2...2,0) D_B$ .

Длина бочки  $L_б$  валков листовых станов определяется максимальной шириной прокатываемого металла:

$$L_б = b_{\max} + \Delta, \quad (5.2)$$

где  $\Delta = 100\text{мм}$  при  $b = 400\div 1200\text{мм}$ ;  
 $\Delta = 200\div 400\text{мм}$  при  $b > 1200\text{мм}$ .

Окончательно длину бочки уточняют, исходя из наиболее оптимального размещения ручьев.

Бочки рабочих валков периодически перетачиваются. При этом удаляются множественные поверхностные дефекты, ухудшающие качество проката, а у профилированных валков восстанавливаются первоначальные размеры ручьев.

### 3) Условие прочности бочки валка

Бочку рабочего валка *рассчитывают на изгиб, пренебрегая касательными напряжениями от крутящего момента*, и строят эпюру изгибающих моментов.

Максимальный изгибающий момент будет в срединном (опасном) сечении по длине бочки валка:

$$M_{из. max} = \left( \frac{P_n}{4} \right) \left[ L_{боч} + l_{ш влк} - \left( \frac{b_l}{2} \right) \right]. \quad (5.3)$$

Условие прочности бочки валка по нормальным напряжениям при изгибе:

$$\sigma_{из. боч. max} = \frac{M_{из. max}}{0,1 D_{боч}^3} \leq [\sigma], \quad (5.4)$$

где  $[\sigma] = \sigma_v / 5$ ;  $\sigma_v$  — предел прочности материала валка.

В зависимости от материала принимают значения допускаемых напряжений из представленных в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты, полученные при испытании образцов на растяжение-сжатие

Материал рабочего валка	$[\sigma]$ , МПа	$\sigma_v$ , МПа
Кованая легированная сталь	140...150	700...750
Кованая углеродистая сталь	120...130	600...650
Литая углеродистая сталь	100...120	500...600
Легированный чугун	80...100	400...500
Чугун	70...80	350...400

#### Шейка валка

Шейка — опорная часть валка, на которой устанавливается подшипник. Её стараются делать как можно большего диаметра, что-

бы увеличить прочность вала и распределить силу прокатки на большую площадь. Шейки бывают не только цилиндрическими под подшипники качения или под подшипники скольжения с текстолитовыми вкладышами, но и конусными под ПЖТ.

#### *Приводной конец вала*

Приводной конец длиной - соединительная часть вала, связывающая его с приводом рабочей клетки.

Выбор размеров приводного конца рабочего вала

Диаметр приводного конца  $d_k$  обычно на 10...15 мм меньше диаметра шейки. Приводной конец может иметь не только круглое, но и квадратное поперечное сечение. Приводные концы круглого сечения могут иметь шпоночные канавки, лыски и шлицы. Часто приводной конец выполняют в виде лопасти и гораздо реже – в виде трефа (рис. 10).

Треф (трилистник) получил свое название от формы концевых сечений, впервые примененной на валах. Недостатками тревовых соединений перед другими являются большие зазоры, интенсивность изнашивания, низкая нагрузочная способность и технологические трудности при изготовлении.

Для соединения тревового конца рабочего вала со шпинделем используется валковая муфта.

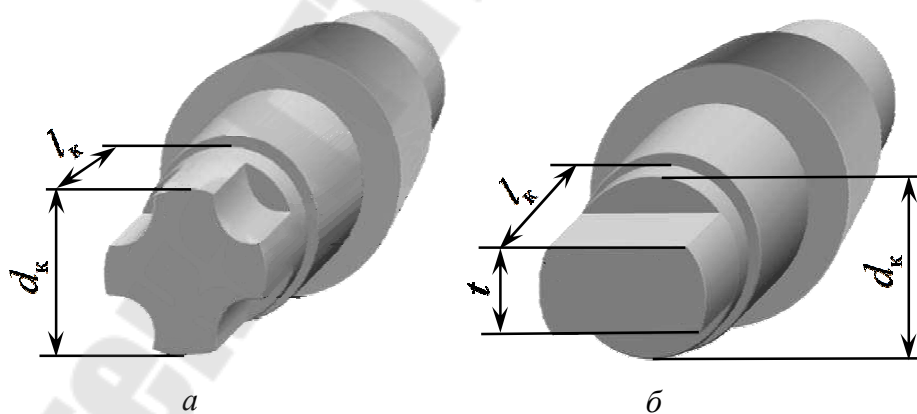


Рисунок 10 - Приводные концы рабочих валков: *a* — тревовый; *б* — лопастной;  $d_k$  — диаметр приводного конца;  $l_k$  — длина приводного конца;  $t$  — размер по лыскам

При соединении рабочего вала со шпинделем лопасть выступает в качестве элемента шарнира с вкладышами скольжения, поэтому валковая муфта отсутствует. Размеры лопастей с углом перегиба осей вала и шпинделя не более  $6^\circ$  назначают по ГОСТ 8059-70.

### *Материал валков и способы изготовления заготовок валков*

#### Требования к валкам

При прокатке создаются большие контактные давления и скорости, значительные термические воздействия на валки. Поэтому для работы в таких условиях качество прокатных валков должно соответствовать определенным требованиям:

- по механическим свойствам;
- структуре;
- стойкости к износам;
- качеству поверхности;
- твердости.

Чем выше стойкость валков, тем меньше простоев при перевалке валков, меньше расход валков - значит, лучше технико-экономические характеристики производства.

Чем выше прочность, тем больше нагрузки они в состоянии выдержать, а значит больше обжатия за проход – тем выше производительность.

Валки рабочих клетей изготавливают из *чугуна, стали* и иногда, когда необходима особенно высокая твердость и износостойкость – из карбида вольфрама.

#### *Чугунные валки*

Достоинством чугуновых валков является их высокая износостойчивость. Однако прочность их меньше, чем стальных.

Чугунные валки подразделяются на:

- мягкие (незакаленные),
- полутвердые (полузакаленные);
- твердые (закаленные).

*Мягкие валки* отливают из серого чугуна в опоках из глины. Вследствие малой скорости остывания в опоках чугун остается в виде твердого раствора углерода в железе. Применяются в обжимных клетях, в черновых клетях крупносортовых и рельсобалочных станов

*Полутвердые валки* льют в чугуновых кокилях, изнутри обмазанных слоем глины толщиной  $\approx 15$  мм. Благодаря этому появляется поверхностный отбеленный слой из белого чугуна, который лучше сопротивляется износу, а мягкая сердцевина – напряжениям изгиба. Шейки и тrefы не отбеливаю (рис. 5.10, а)т. Применяются в черновых клетях сортовых и листовых станов, в чистовых клетях крупносортовых и заготовочных станов.

*Твердые валки* отливают в кокилях без футеровки их внутренней



поверхности, что ведет к образованию твердого закаленного слоя значительной толщины (рис. 5.10, б). Применяются в качестве рабочих валков чистовых клетей листовых станов и в чистовых клетях сортовых станов.

#### 5.4 Привод прокатных клетей

*Главный привод рабочей клетки* предназначен для передачи крутящего момента от электродвигателя 1 на рабочие валки 7 клетки и состоит из электродвигателя 1, моторной 2 и коренной 4 муфт, редуктора 3, шестеренной клетки 5 или комбинированного редуктора и шпиндельного соединения 6 (рис. 5.11).

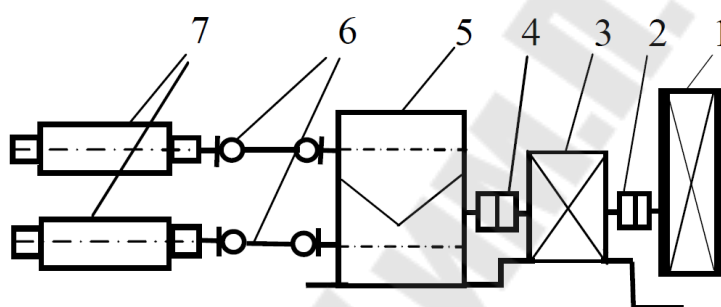


Рис.5.11. Главный привод рабочей клетки

Для прокатного стана наличие всех звеньев в передаточном механизме необязательно. Так у быстроходных и большинства реверсивных станов отсутствует редуктор. При индивидуальном электроприводе валков и в случае привода лишь одного валка исключается шестеренная клетка. У некоторых станов отдельные звенья передаточного механизма могут быть объединены. Например, редуктор и шестеренная клетка размещаются в общем корпусе и образуют редуктор-шестеренную клетку.

Электропривод рабочих клетей является основным потребителем электрической энергии (до 60 %) и главным источником механической энергии прокатного стана.

#### 5.5 Вспомогательное оборудования прокатных цехов

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

### *Машины для перемещения и кантовки проката*

К транспортной группе агрегатов и механизмов относятся *слитковозы, рольганги, холодильники, манипуляторы, кантователи, поворотные и подъемные механизмы.*

*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. тонн и более в год годного проката. Кольцевая слиткоподача называется так потому, что движение слитковозов осуществляется по замкнутому кольцу.

*Рольганги.* Рольганги предназначен для транспортирования металла к прокатному стану, задачи металла в валки, приема его из валков и передвижение 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. По своему назначению рольганги разделяют на рабочие и транспортные. Рабочие рольганги расположены непосредственно у рабочей клетки стана и служат для задачи прокатываемого 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 применяют 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.

*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 холодильники осуществляется *прием прокатанного металла, его охлаждения, 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 речном холодильнике 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, 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 переключаются на неподвижные рейки. Дальнейшее продвижение металла осуществляется в результате качения реек, при перемещении по холодильнику металл охлаждается до 80-120 °С, передается на отводящий рольганг, ведущий к ножницам для холодной резки на мерные длины. Длина холодильника составляет 125м., ширина – 16м. Роликовые холодильники, которые состоят из роликов диаметром 100-120 мм, расположены под углом 35-40° к оси подводющего 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 подводющего рольганга к отводящему. Достоинством такого холодильника является равномерное охлаждение металла.

*Шлепперы.* для перемещения заготовок и крупносортовых профилей поперек цеха от рольганга к рольгангу, к уборочному карману или в соседний пролет цеха применяется канатные или цепные шлепперы. Канатный шлеппер состоит из 6-8 канатов, которые тянут между рядом приводных барабанов и рядом натяжных блоков. На всех канатах в один ряд закреплены шлепперные тележки с упорными пальцами. При ходе тележек вперед упорные пальцы перемещают металл от рольганга к рольгангу. При обратном ходе тележки пальцы «утапливаются» и проходят под металлом. При непрерывной реверсивной работе со скоростью перемещения тележки 1-2 м/с канатный шлеппер отличается маневренностью и позволяет накапливать на стеллажах 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 работать 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. Одновременно линейки манипулятора выправляют прокатываемый металл, если он искривился при прокате. Манипуляторы применяют на обжимных заготовочных и толстолистовых станах при прокатке слитков и относительно толстой заготовке.

Кантователи служат для поворота прокатываемой полосы относительно продольной оси на  $90^\circ$  перед задачей в следующий калибр для обеспечения равномерного обжатия металла по всему сечению. На обжимных станах манипуляторы устанавливают с передней и задней сторон рабочей клетки. Прокатываемый металл, направленный в валки передней пары линеек, с другой стороны клетки принимается задней парой линеек, а затем передвигается ими к следующему калибру валков. Кантователи применяют крюкового типа. 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. Кантующая втулка представляет собой разъемную деталь, которая поворачивается вокруг неподвижной точки при помощи кривошипно-шатунного привода для поворота раската на  $45^\circ$  или  $90^\circ$ , движущегося по рольгангу со скоростью 0,5-0,8 м/с. Время кантовки раската на  $90^\circ$  равно 1,3 с. При входе во втулку раската втулка поворачивается на заданный угол, а после выхода возвращается в исходное положение. 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.

*Подъемно-качающиеся столы.* Их применяют на листовых, сортовых трехвалковых и 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 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.

#### *Машины для резки проката*

К обрабатывающей группе агрегатов и механизмов относятся ножницы, пилы, правильные механизмы и прессы, моталки, разматыватели и др.

#### Ножницы и пилы

*Ножницы с параллельными ножами.* Для порезки готового проката на мерные длины и обрезки концов устанавливают ножницы для горячей и холодной резки с параллельными ножами. Ножницы могут иметь нижний или верхний 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. Чтобы воспрепятствовать повороту полосы при резе, устанавливают специальный прижим, опускающийся на полосу с верхним ножом. Ножницы с нижним резом получили более широкое применение. 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 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 профилю сечения разрезаемого металла. Верхний подвижной нож имеет угол наклона  $2 - 50$ . Ножницы закрытого типа имеют две станины, соединенные снизу траверсой. В просвете между станинами перемещается суппорт с ножом. Эти ножницы применяют для поперечной резки широких полос и листов в холодном, полустывшем или горячем состоянии.

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 3мм и горячей резки мелких сортовых профилей. На барабанах ножниц 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 позволяют резать металл со скоростью более 15 м/с.

Рычажно-кривошипные летучие ножницы. При порезке толстых полос применяют рычажно-кривошипные летучие ножницы с поступательно движущимися ножами. Ножи совершают сложную эллипсоидную траекторию, а на участке реза эта траектория совпадает с горизонтальным движением полосы, сближаясь по вертикали.

Планетарные летучие ножницы. Для порезки заготовок и сортовых профилей применяются планетарные летучие ножницы. Они предназначены для порезки на ходу заготовок сечением 80 x 80 и 120 x 120 со скоростью 7,0 и 3,1 м/с соответственно, а также плоских заготовок сечением 100 x 120 – 100 x 150 мм и круглых заготовок диаметром 100–140 мм. Ножницы могут работать в режиме без пропуска реза и с пропуском реза. При работе с пропуском реза кривошип приводится во вращение от редуктора пропуска реза 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 резки широких полос в продольном направлении на несколько более узких полос.

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 ре-

зание происходит вследствие расплавления металла при трении быстровращающегося диска.

#### *Машины для правки проката*

В прокатных цехах применяют правку металла изгибом, растяжением и прокаткой с небольшим обжатием. Правку производят как в горячем, так и в холодном состоянии на правильных и в роликовых правильных машинах.

Правильные прессы бывают горизонтальные и вертикальные. На вертикальных прессах профиль устанавливают на двух роликовых опорах, расположенных на неподвижном столе. Правку осуществляют приложением усилия посредине между опорами путем перемещения верхнего ползуна в вертикальной плоскости. На горизонтальных прессах схема правки аналогична, но ползун, передающий усилие правки, расположен горизонтально и перемещение его осуществляется в горизонтальной плоскости.

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).

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 однородными роликами более удобны в эксплуатации, поэтому их применяют не только для правки мелких и средних, но и крупных профилей, например, рельсов.

#### *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: *роликотарабанные 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 переднего 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 роликотые барабанные моталки. Полоса подается от стана по рольгангу к подающим роликам, которые направляют полосу между формирующими роликами и барабаном моталки. При сматывании тонкой 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.

Барабанные моталки применяют для сматывания холодной полосы, одновременно сообщая полосе натяжение. Барабанные моталки применяются на реверсивных и нереверсивных станах.

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.

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, преимуществом которых является отсутствие вращения бунта и сматывания 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: устройства для установки рулона в положение для разматывания и приспособление для отгибания переднего конца рулона и задачи его в подающие ролики.

#### *Агрегаты отделки проката*

Получение готового проката высокого качества возможно только тогда, когда на всех стадиях технологического процесса в прокатном цехе осуществляется контроль качества металла, устранение дефектов и отделка проката в механизированных поточных линиях. При производстве готового проката в настоящее время в прокатных цехах экс-



плуатируется агрегаты отделки проката. Слябы подаются на подъемно – опускающийся стол, сталкиваются сталкивателем на рольганг, выравнивается 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 сляба кантуется на 1800 кантователем и зачищается другая сторона слябы.

*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 д. р.

## ТЕМА 6 ОБОРУДОВАНИЕ ВОЛОЧИЛЬНЫХ И КАНАТНЫХ ЦЕХОВ

### 6.1 Волоочильные станы. Основное оборудование

#### *Классификация волоочильного оборудования*

Современные станы для обработки металлических деталей методом волочения достаточно совершенны. Они сегодня характеризуются:

- повышенной производительностью;
- хорошим качеством поверхности выпускаемого продукта;
- увеличенной стойкостью волок;
- улучшенными условиями техники безопасности.

*Оборудование для волочения проволоки из стали* отличается от волоочильного оборудования, предназначенного для волочения проволоки из цветных металлов. Но грань между этими видами оборудования сегодня стирается. Сама технология процесса определяет специфику требований к конструкциям волоочильного оборудования и его основным характеристикам.

Исходной заготовкой для производства проволоки является горячекатаный прокат – катанка диаметром 5,0 – 19,0 мм. Ранее для неоднократного передела в основном использовалась катанка диаметром 6,5 мм, однако, в последнее время все чаще применяется катанка диаметром 5,5 мм термически обработанная с прокатного нагрева, что связано с возможностью значительного ресурсосбережения за счет сокращения количества переделов при волочении проволоки.

Каждый агрегат оснащен *основным и вспомогательным оборудованием*. Основным технологическим оборудованием волоочильных цехов служат волоочильные станы. Рассмотрим их классификацию.

Все известные в настоящее время волоочильные станы можно классифицировать следующим образом (рис. 6.1):

- по конструкции, по принципу работы;
- по кратности;
- по диаметру протягиваемой проволоки;
- по кинематическому принципу.

Кроме того, на практике, как в СНГ, так и за рубежом, принято делить волоочильные станы на станы “сухого” и “мокрого” волочения.

Для осуществления волочения применяются в основном *многократные станы*. Абсолютное большинство таких волоочильных станов имеет тяговые барабаны или шайбы.

Станы с прямолинейным движением металла используются реже (цепные, гусеничные, реечные, гидравлические). Обычно они предназначены для производства прутков и труб больших диаметров.

Многokrатные станы магазинного типа (без скольжения проволоки с накоплением) занимают большую долю имеющегося на отечественных метизных предприятиях на сегодняшний день волочильного оборудования, но в настоящее время производителями волочильного оборудования такие станы не выпускаются. Причиной чему является их низкая энергоэффективность и производительность.

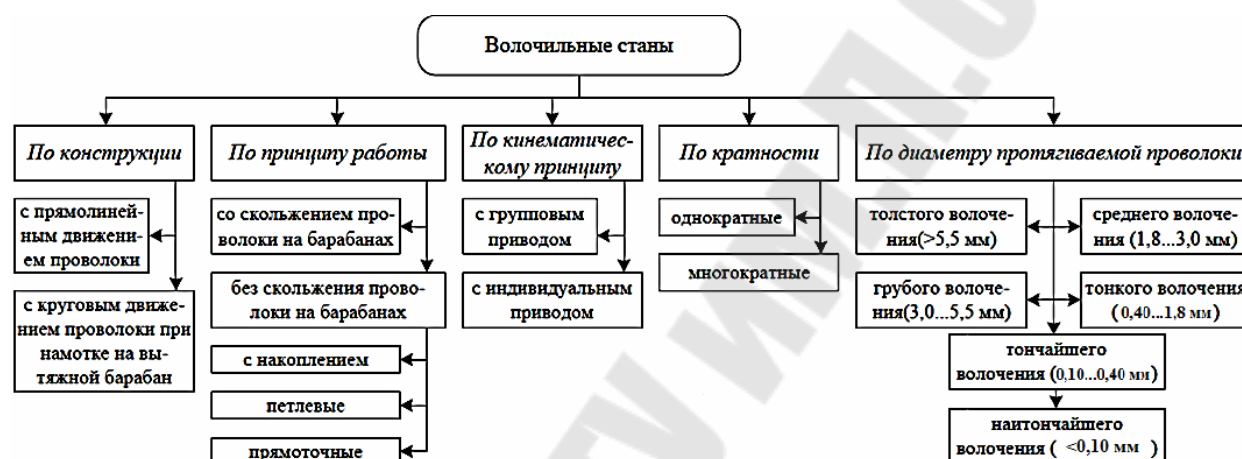


Рис. 6.1. Классификация волочильных станов

Современную альтернативу им составляют *петлевые* и *прямоточные* волочильные станы. Это агрегаты многократного волочения, работающие с автоматическим регулированием скоростей промежуточных барабанов без накопления проволоки на них. При заправке этих станов на каждый барабан наматывается не более 10 витков, и в процессе работы это количество проволоки остается неизменным

Для процесса волочения проволоки из мягких материалов, например, из цветного металла, применяются волочильные станы с функцией скольжения. Это обусловлено тем, что при скольжении проволоки из мягкого материала потери при трении меньше, чем при волочении материала из стали. Повышенная пластичность и меньшая прочность цветного металла в любом случае облегчают заправку стана.

При производстве стальной проволоки реже применяются станы с функцией скольжения, в основном при производстве тонкой

проволоки минимального диаметра и проволоки для специального применения.

В учебном пособии рассматриваются следующее основное и вспомогательное оборудование волочильных станов:

*Основное оборудование:*

- а) станы однократного волочения
  - прямолинейного типа;
  - барабанного типа;
- б) станы многократного волочения
  - станы магазинного типа;
  - станы петлевого типа;
  - станы прямоточного типа;
  - станы волочения со скольжением.

*Вспомогательное оборудование:*

- разматыватели;
- наматыватели;
- окалиноломатели;
- приспособления для острения проволоки;
- приспособления для сварки проволоки и др.

## 6.2 Конструктивные особенности однократных волочильных станов

*Однократным называется волочение, при котором проволока протягивается через одну или несколько волок при помощи **только одного тягового элемента** (рис. 6.2).*

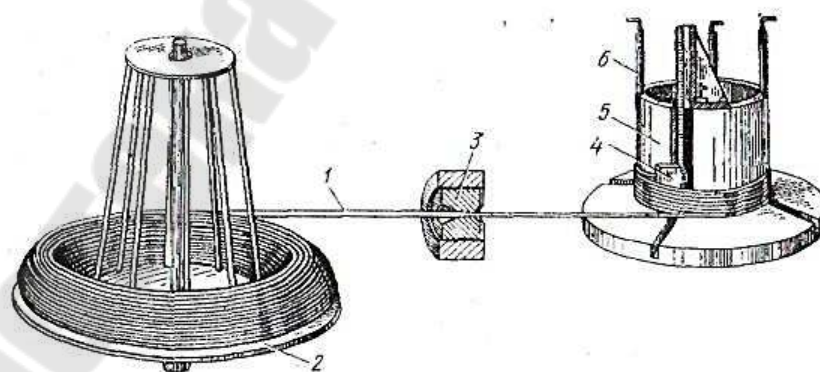


Рис. 6.2. Принцип однократного волочения:

- 1 - проволока; 2 - размоточная фигурка; 3 - волока; 4 - клещи;
- 5 - тяговый барабан; 6 – спица укладки проволоки

Волочильные станы однократного волочения разделяют на 2 основных вида:

Станы с прямолинейным движением обрабатываемого материала. Получаемый профиль остается в прямолинейном виде, а не в мотке. Рабочий инструмент – одна волока, которая может быть одинарной, сдвоенной строенной. Иногда используются волокнистые волокна большей кратности, т.е. в одном волокодержателе может быть установлено несколько волок. Но так как тяговое устройство одно – волочение считается однократным.

Станы с наматыванием металла на тяговый барабан. Применяемый инструмент аналогичен первому типу.

#### *Волочильные станы с прямолинейным движением материала*

Кроме проволоки волочением можно получать прутковые, фасонные и трубные профили, которые отличаются от проволоки отсутствием сматывания в мотки или катушки. Они используются в изготовлении прутков, труб и заготовок в машиностроении или строительстве, ювелирном производстве. Калибровка металла используется в метизном производстве, производстве болтов, гаек, гвоздей и др. Основной особенностью это волочения является использование специального волочильного оборудования (рис. 6.3).

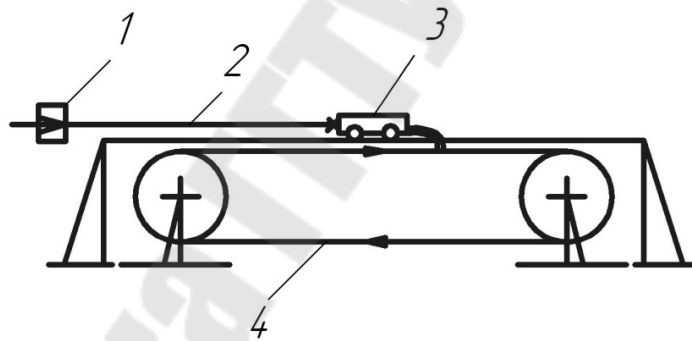


Рис. 6.3. Схема прямолинейного цепного волочильного стана:  
1-волока; 2 - проволока; 3 - тяговый элемент; 4 - цепь

Работа волочильного стана с прямолинейным движением материала основана на том, что заготовку (пруток или трубу), имеющую ограниченную длину (8–12 м), подают на стан и протягивают с уменьшением площади поперечного сечения через коническую волоку посредством тянущей тележки, затем тележку возвращают к стойке волок, а на стан подают следующую заготовку, и процесс повторяют.

*Привод тянущей тележки может быть различным:*

а) посредством жесткого тянущего элемента – *штока гидро-*

цилиндра или зубчатой рейки;

б) посредством гибкого тянущего элемента: *тяговой цепи, каната или тонкой ленты*, приводимых в движение звездочкой или тянущим барабаном.

В настоящее время наибольшее распространение получили *цепные волочильные станы*.

Скорость волочения может достигать 2 м/с, а скорость возврата тянущей тележки к стойке волок 2,5 м/с, усилие волочения от 0,05 до 1 МН, диаметр протягиваемых заготовок до 150 мм (до 400 мм – трубы), длина 10–30 м.

*Рабочий стол волочильного стана* воспринимает силу, возникающую при волочении, и служит для соединения всех узлов стана. Он состоит из нескольких секций, количество которых определяется полезной длиной волочения.

*Главный привод стана* предназначен для перемещения тянущей тележки и у цепного волочильного стана состоит из электродвигателя, редуктора и ведущих звездочек, размещенных на приводном валу, который смонтирован на подшипниках качения в специальном корпусе и соединен с валом редуктора. В приводе станом обычно используют электродвигатели постоянного тока, это позволяет регулировать скорость волочения в широких пределах и производить плавный запуск привода. Возврат тянущей тележки осуществляется чаще всего тем же двигателем.

*Повышение производительности станом* достигается на основе роста скорости волочения и длины протягиваемой трубы. Необходимо также, чтобы время, затрачиваемое на осуществление рабочего хода, перекрывало время вспомогательных операций. Для повышения производительности также применяют одновременное волочение нескольких заготовок.

Существенное сокращение времени вспомогательных операций привело к созданию *станом полунепрерывного типа*. Основное отличие их от станом периодического действия заключается в том, что на тяговых цепях закреплены две тянущие тележки и время возврата одной тянущей тележки в значительной мере перекрывается временем волочения изделия другой тележкой. Благодаря этому доля времени вспомогательных операций в цикле волочения существенно снижается. Однако, как и в станом периодического действия, в полунепрерывных станом цикл волочения одного изделия включает время для его захвата, разгона тележки до номинальной скорости и ее

торможения перед захватом изделия. Кроме того, влияние скорости волочения на производительность полунепрерывных станов так же ограничено, как и на производительность станов периодического действия.

*Основное отличие* этого оборудования от проволочного волочения - прямолинейное движение тянущего проволоку механизма, а в проволочном волочении используется вращающееся движение тягового механизма.

К *основным видам* этого волочильного оборудования относят:

- цепные волочильные станы;
- реечные волочильные станы.

*В цепном стане* тяговый механизм представляет собой тележку с захватом проволоки, движение которой обеспечивает цепь.

*Реечные станы* отличаются от цепных наличием в качестве привода тележки реечного механизма. Преимущество реечных станов - большая длина ходов тележки, компактная конструкция стана.

В связи с низкой производительностью этих видов станов, используются одновременный захват нескольких прутков и протяжка через несколько волок. Для повышения производительности также используются специальные механизмы, позволяющие непрерывно обрабатывать прутковые материалы. В этих станах используют самозаклинивающийся механизм захвата, позволяющий в автоматическом режиме фиксировать и отпускать пруток в процессе его непрерывного движения. Перед волочением прутков всегда используют предварительные операции удаления окалины, наносят специальный подмазочный слой, способствующий удержанию смазки при волочении. Это связано с большими диаметрами заготовок и, следовательно, с большими усилиями волочения.

*Основное назначение однократных станов* – волочение и калибровка труб, калибровка прутков, волочение фасонных профилей.

*Применяются* в основном в трубном производстве для холодно-тянутых труб, в машиностроении для обеспечения собственного производства калиброванной прутковой заготовкой.

*Основные преимущества:*

- простота конструкции;
- возможность волочения сплошных, полых, фасонных профилей как круглого так и других форм сечений;
- широкий размерный ряд заготовок.

*Недостатки:*

- низкая производительность;
- нет возможности контролировать и управлять технологическими режимами волочения (натяжения, температура, смазка, скорость, усилие и т.д.);
- небольшая степень деформации, вследствие наличия только одного прохода;
- многократное волочение требует многократного прохождения заготовки через стан с постоянными остановками после каждого цикла;
- ограниченная длина протягиваемого металла.

#### *Барабанные станы однократного волочения*

Волочильные однократные станы барабанного типа используются для волочения толстой проволоки, различных профилей и круглых сечений диаметром до 25–40 мм, а также труб (для волочения труб диаметром 40–50 мм применяют станы с диаметром барабана 1400–1500 мм; при волочении труб диаметром 75–80 мм диаметр барабана достигает 3000 мм). По расположению осей барабанов эти станы изготавливают вертикальными и горизонтальными.

Станы однократного волочения в зависимости от сечения и качества протягиваемого металла рассчитывают на усилие 0,05–200 кН при скоростях волочения 0,3–5 м/с.

Диаметр барабана определяется максимальным диаметром протягиваемой проволоки на данном стане.

Наибольшее применение в настоящее время имеют станы с вертикальным расположением оси барабана, так как на этих станах легче механизировать съем бухт, рис. 6.4.

В станах однократного волочения находят применение электродвигатели как постоянного, так и переменного тока, которые должны обеспечивать:

- возможность запуска стана на ползучей скорости и плавный разгон во избежание обрыва проволоки при захвате;
- плавный и в тоже время быстрый разгон для обеспечения максимальной производительности;
- регулировку скорости волочения в зависимости от протягиваемого материала и его сечения с целью максимального использования производительности стана;
- возможность аварийной остановки электродвигателя во избежание несчастных случаев.

*Основное назначение стана* – калибровка круглого сплошного профиля, полученного на проволочном прокатном стане.



Применяется в основном в метизном производстве для получения калиброванного металла в бухтах, который далее используется в холодновысадочном производстве.

Стан с наматыванием имеет следующую принципиальную схему:

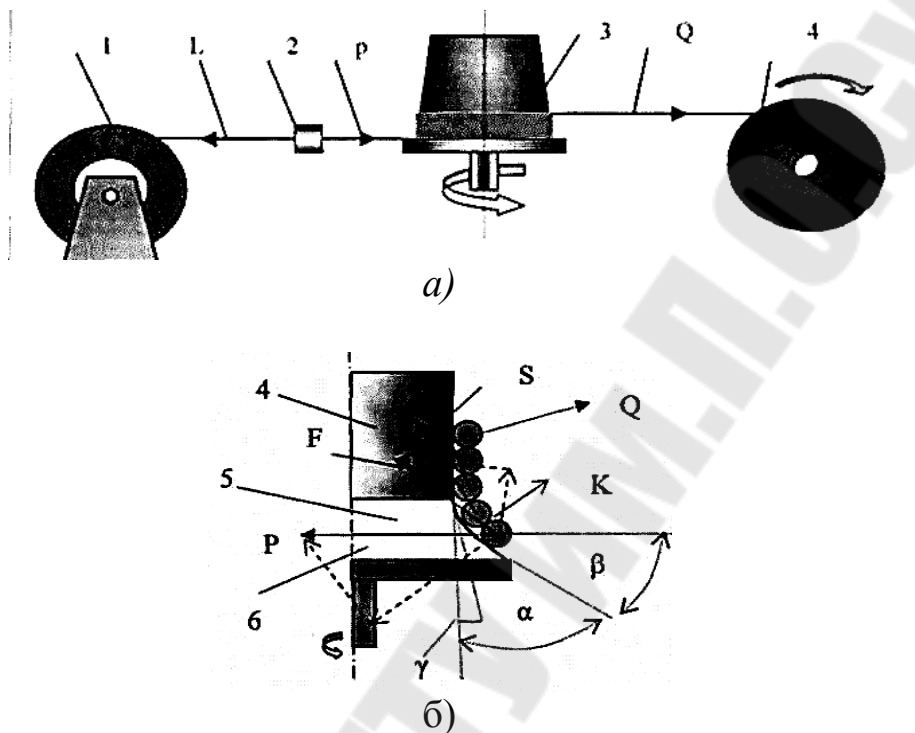


Рис. 6.4. Стан однократного волочения барабанного типа:

а) Схема стана однократного волочения барабанного типа:

1 – устройство размотки; 2 – мельница с волокой; 3 – тянущий барабан; 4 - устройство намотки; б) Схема действия сил на барабане при волочении проволоки: 4 – корпус барабана. 5 – галтель барабана; 6 – «юбка» барабана; F – сила давления набегающего витка, K – сила трения между витками, S – сила воздействия соседнего витка; P – сила волочения; Q – сила натяжения сбегавшей ветви;  $\gamma$  – угол конусности барабана;  $\alpha$  – угол отклонения набегающего витка,  $\beta$  – угол конусности «юбки» барабана.

Кроме волочения сплошных профилей станы такого типа способны калибровать холоднодеформированные трубы небольших сечений, сворачиваемых в бухты.

*Основные преимущества:*

- простота конструкции;
- возможность обработки длинномерных изделий.

*Недостатки:*

- небольшая степень деформации, вследствие наличия только одного прохода;
- многократное волочение требует многократного прохождения заготовки через стан с постоянными остановками после каждого цикла;
- ограниченная площадь сечения протягиваемого металла:
  - а) для сплошного профиля до 40 мм;
  - б) для трубного профиля до 50 мм.

### **6.3 Конструктивные особенности многократных волочильных станов**

#### *Многократные станы без скольжения*

Многократное волочение перед однократным имеет следующие преимущества:

- автоматический переход с одного обжатия на другое;
- увеличение скорости на чистовом барабане при постоянной скорости на размотке;
- улучшение условий волочения (уплотнение слоя смазки на поверхности проволоки).

Производство тонкой и тончайшей проволоки осуществляется только на станах многократного волочения. Кратность волочения определяется величинами единичных и суммарных обжатий.

Многократные волочильные станы, работающие без скольжения проволоки на промежуточных барабанах, составляют наиболее обширную группу современных машин. Их применяют для волочения проволоки – от грубой до тончайшей при колебании кратности от двух до тридцати.

Процесс данного многократного волочения отличается отсутствием скольжения проволоки по барабану.

Задача решается двумя путями.

- скорость проволоки постоянно согласуется со скоростью своего барабана, по этому принципу работают станы магазинного типа.
- скорость промежуточного барабана постоянно согласуется со скоростью наматываемой проволоки, по этому принципу работают станы петлевого и прямоточного типа.

#### *Станы магазинного типа*

Силовой особенностью многократного волочения является необходимость согласования скоростей движения проволоки после каждой волоки. В зависимости от данного согласования различают три основных вида многократного волочения проволоки:

- волочение с накоплением проволоки на тяговых барабанах;
- волочение с автоматической регулировкой скоростей вращения тяговых барабанов;
- волочение со скольжением витков проволоки по поверхности тяговых барабанов.

Рассмотрим схему волочения с накоплением проволоки на тяговых барабанах (рис. 6.5).

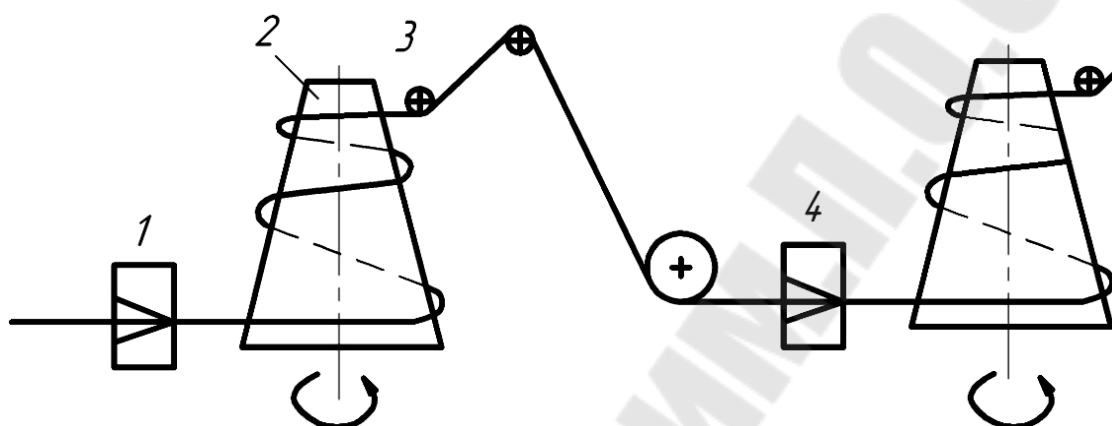


Рис. 6.5. Схема магазинного волочильного стана

Проволока из разматывающего устройства подается в волоку 1. После деформации проволока подается на тяговой барабан 2. Линейная скорость вращения этого барабана на 3..6% меньше, чем скорость движения проволоки на выходе из волоки 1. В результате разница скоростей на барабане 2 накапливает дополнительные витки проволоки. Поверхность барабана коническая, поэтому происходит постоянное смещение витков кверху. Разматывающее устройство 3 сбрасывает витки и направляет их через систему роликов к волоке 4. Далее происходит аналогичное движение проволоки. Количество тяговых барабанов может быть от 1 до 10.

*Благодаря накоплению витков проволоки на барабан, указанный способ волочения, позволяет не соблюдать строгое равенство в законе постоянства секундных объемов при волочении:*

$$V_i \cdot F_i \neq const$$

В связи с отсутствием проскальзывания проволоки по виткам тяговых барабанов  $B_i = V_i$ , где  $B_i$  - линейная скорость вращения тягового барабана. В связи с тем, что барабан вращается несколько

медленнее (на 3-6 %), то это вызывает накопление проволоки на барабане.

Волоочильные станы, работающие по приведенному типу, называются станами *магазинного типа*.

Стан магазинного типа (магазинакопление) действует по принципу многократного волочения с накоплением витков проволоки на промежуточных тяговых барабанах. По сути конструкции это набор однократных волоочильных станов барабанного типа. Накопление проволоки обеспечивается превышением набегающих витков над количеством сбегающих. Это превышение незначительно и составляет около 1,5 %. Принцип накопления обусловлен небольшим превышением фактической вытяжки проволоки над величиной кинематической вытяжки

*Достоинства стана:* простота конструкции, нет сложной и дорогой системы регулирования скоростей тяговых барабанов.

*Недостатком станом магазинного типа* является многочисленное количество гибов – перегибов проволоки при ее движении от начального блока к чистовому. Для избегания большого накопления проволоки на барабанах и свойственному этому явлению скручивания проволоки применяют станы со сдвоенным барабаном.

На станах магазинного типа легко конструктивно устраняется также главный недостаток таких машин – скручивание проволоки при волочении. Для этого применяют сдвоенные барабаны. Видно, что на одном барабане проволока закручивается в одну сторону, а на втором – в другую. Но двойное скручивание еще в большей мере сказывается на механических свойствах проволоки.

*Петлевые многократные станы, работающие с противонатяжением*

Благодаря противонатяжению уменьшается износ волок, повышается равномерность толщины проволоки и становится возможным применение более высокой скорости волочения.

Создание и регулирование противонатяжения осуществляется регулировкой скорости вращения промежуточных барабанов при исключении возможности скольжения проволоки по барабану. Станы этого типа аналогичны другим многократным станам и состоят из нескольких последовательно расположенных барабанов с находящимися между ними волоками. Для привода каждого барабана применяют электродвигатели постоянного тока с регулируемой скоростью.

В связи с тем, что накопление проволоки приводит к большим габаритам волочильных станов, которые имеют низкую скорость волочения, используется другой принцип волочения. Он заключается в отсутствии накопления витков, но в наличии специального привода тяговых барабанов, который позволяет автоматически поддерживать заданное натяжение проволоки между тяговыми барабанами. Эта регулировка осуществляется путем изменения в автоматическом режиме скоростей волочения, которые равны скоростям вращения тяговых барабанов.

Дополнительное преимущество этого вида волочения – наличие регулируемого противонатяжения волочения. Используется две разновидности этого вида волочения: петлевое (рис.6.6) и прямоточное.

Из разматывающего устройства проволока подается к волоке 1. После деформации витки проволоки наматываются на барабан 2. Их количество должно обеспечивать отсутствие проскальзывания по барабану (около 30 витков). После барабана проволока огибает петлей вокруг ролика 3 и далее попадает к волоке 4. Ось ролика 3 закреплен на подвижной опоре, поэтому величина растяжения гибкого элемента опоры соответствует величине натяжения проволоки между барабаном 2 и волокой 4. Далее движение проволоки циклически повторяется. Количество барабанов до 15. В зависимости от смещения опоры ролика 3 изменяется скорость вращения барабана 2. Эта связь обеспечивается механизмом автоматической регулировки скоростей вращения тяговых барабанов. Поэтому при волочении строго соблюдается закон постоянства секундных объемов.

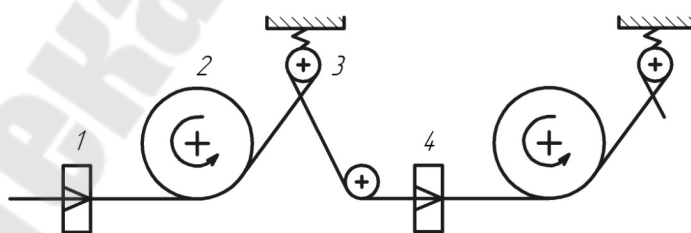


Рис. 6.6. Схема петлевого волочильного стана

Скорости всех барабанов регулируют таким образом, чтобы проволока подвергалась непрерывному волочению без проскальзывания. При применении двигателей постоянного тока это регулирование достигается электрической схемой путем применения реостата, механически связанного с натяжными роликами.

*К преимуществам станов петлевого типа относятся:*

- практически неограниченный выбор единичных обжатий;
- возможность регулировки противонатяжения;
- более высокая по сравнению со станами магазинного типа производительность;
- отсутствие перекручивания проволоки.

*Недостатками данной конструкции являются:*

- затруднена заправка стана;
- дополнительные изгибы проволоки при прохождении через ролики;
- узкий диапазон регулирования противонатяжения механическим путем;

Применение постоянного тока удорожает и усложняет конструкцию.

Этих недостатков лишены прямоточные станы с противонатяжением.

*Прямоточные многократные станы с противонатяжением*

Принципиальным отличием прямоточных станов является автоматическое регулирование линейных скоростей вращения барабанов в соответствии с вытяжкой проволоки между блоками (рис. 6.7).

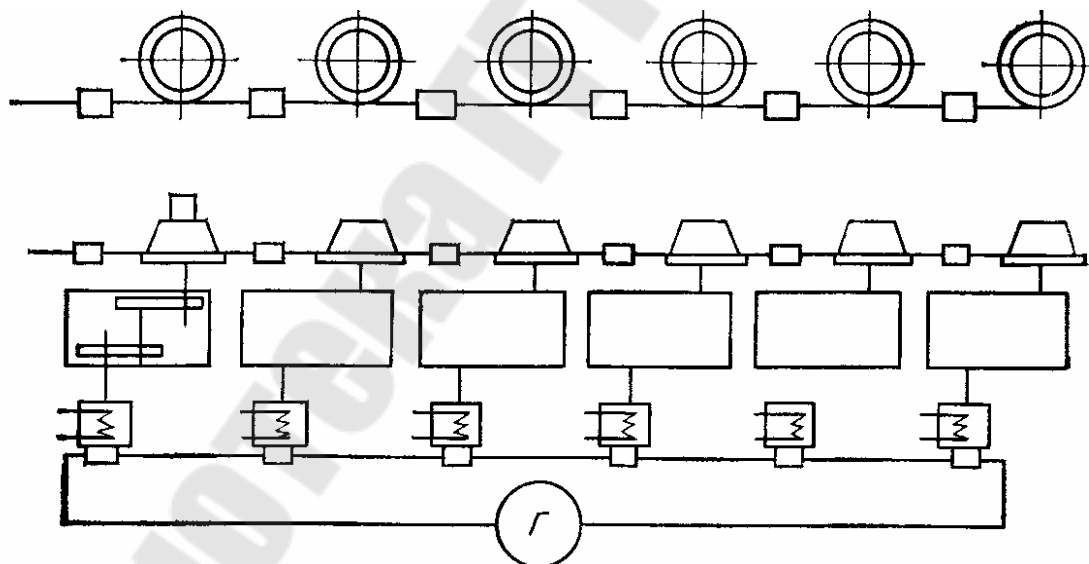


Рис.6.7. Схема прямоточного волочильного стана с автоматическим регулированием скорости барабанов

Скорость волочения задается последним чистовым блоком. В соответствии с натяжением проволоки передаваемой на регулировочный ролик между предпоследним и последним чистовым барабаном

система автоматического регулирования скоростей барабанов устанавливает скорость предпоследнего барабана.

Аналогичным образом устанавливаются скорости волочения по всем блокам. Управление приводом блоков осуществляется автоматически путем изменения частоты тока двигателя.

Таким образом, при установке любого маршрута, стан автоматически подстраивается и скорости устанавливаются таким образом, чтобы  $\mu=i$ . Прямоточные станы позволяют более точно и широко регулировать противонапряжение. Уменьшение нагрева проволоки в процессе волочения достигается за счет снижения частных обжатий и интенсивного охлаждения волок и барабанов.

Рассмотренные выше станы многократного волочения, работающие без скольжения проволоки на промежуточных барабанах, применяют наиболее широко. Их используют для волочения проволоки почти всего сортамента, при этом обеспечивается высокая производительность. Кратность машин до 15 и более, поэтому можно применять большие суммарные обжатия. Единичные обжатия допускаются изменять в широком диапазоне.

Если проследить эволюцию машин многократного волочения, то она сводится к выявлению более совершенного способа синхронизации скоростей проволоки во всех переходах машины и борьбе с существенными недостатками предшествующих конструкций и технологий. Основной принцип непрерывного многократного волочения проволоки заключается в постоянстве секундных объемов металла во всех переходах волочильной машины, где через каждую его волоку должен проходить одинаковый объем металла в единицу времени. Осуществление этого принципа на практике с самого начала потребовало обеспечения в той или иной степени синхронизации скоростей тянущих барабанов. Поиск наилучшего решения этого вопроса продолжается и в настоящее время. Возможны два способа согласования скоростей проволоки с окружными скоростями тянущих барабанов в переходах машины при непрерывном процессе — полное и неполное. Самые простые многократные машины непрерывного действия работают по неполному способу согласования скоростей — со скольжением проволоки на тянущих барабанах (шайбах), при котором окружная скорость на каждом промежуточном барабане должна быть всегда несколько больше скорости движения проволоки на этом барабане. Машины, основанные по этому принципу, появились более ста лет назад (в 1871 г.) и широко применяются в настоящее время. Однако

скольжение проволоки по барабану особенно нежелательно при многократном волочении жестких или очень вязких металлов или сплавов. В первом случае наблюдается быстрый износ барабанов, а во втором — большое количество царапин и прочих поверхностных дефектов на проволоке. Машины со скольжением имеют повышенный расход энергии на трение, у них нет возможности варьировать обжатиями в переходах ввиду постоянства уменьшает время на их охлаждение. Поэтому с момента появления этого типа машин началось совершенствование их конструкции в целях уменьшения и ликвидации скольжения проволоки о поверхность барабана кинематических вытяжек; количество витков на барабанах ограничено условиями процесса, что уменьшает время ее охлаждения.

*Общими недостатками, присущими машинам с противонапряжением, как петлевым, так и прямоточным,* являются малое охлаждение проволоки в связи с кратковременностью пребывания ее на каждом барабане, косвенное охлаждение проволоки, тянущих барабанов и волок, значительные их габариты и металлоемкость. Машины с противонапряжением в связи с необходимостью синхронизации скоростей барабанов требуют создания достаточно сложных и дорогих систем автоматизированного электропривода. Из проведенного далеко не полного анализа известных типов машин несложно сделать следующие **выводы**:

- появление каждого нового типа машин устраняло в известной мере недостатки предыдущих, но появлялись новые, что также ограничивало области их применения;

- основа непрерывного волочения в машинах с противонапряжением - синхронизация скоростей — достигается слишком большим усложнением машин и их удорожанием;

- дальнейшему существенному росту скоростей волочения, и, соответственно, увеличению производительности на современных машинах сухого волочения с противонапряжением препятствует несовершенная система охлаждения проволоки, тянущих барабанов и волочильного инструмента.

*Станы многократного волочения со скольжением*

Основной недостаток многократного волочения с автоматической регулировкой скорости волочения - необходимость использования сложной системы автоматического регулирования, натяжения проволоки между барабанами и скорости этой проволоки.



Для исключения этого недостатка используют принцип волочения со скольжением витков проволоки по поверхности тяговых барабанов (рис. 3.8). Скольжение позволяет создавать силу волочения за счет сил трения между витками и барабаном. Возникающая возможность автоматической настройки скоростей волочения без контроля натяжения. Регулировка осуществляется изменением разницей между скоростью проволоки и барабана.

**Основной недостаток** волочения со скольжением - невозможность использования больших диаметров проволоки (более 2 мм).

Большие диаметры проволоки используются при волочении с накоплением витков, а средние диаметры при волочении с автоматической регулировкой скоростей.

Проволока огибает шайбу на 1,5-3,5 витка. Проволока всегда находится в натянутом состоянии, что создает трение скольжения по поверхности барабана. Начинается движение проволоки с барабанов малых диаметров, скорость которых не велика и заканчивается на шайбах больших диаметров с высокой линейной скоростью вращения. Все тяговые шайбы приводные. Каждая секция шайб имеет верхний набор шайб - тяговые, и нижний набор - обводные. Количество секций может составлять от 1 до 10.

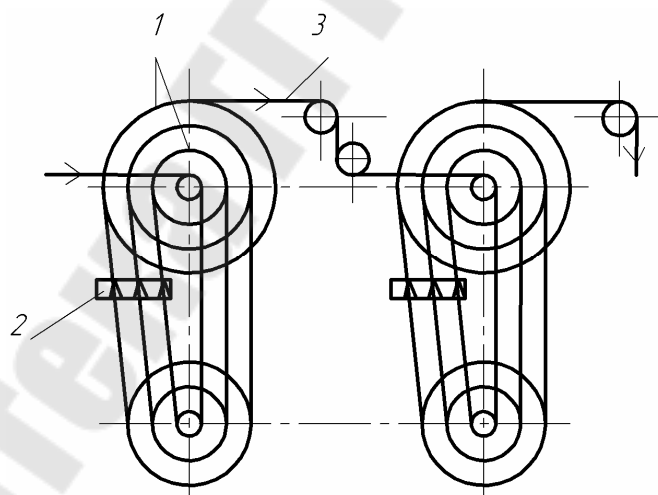


Рис. 6.8. Схема волочения со скольжением:  
1-тяговые шайбы; 2 -волока; 3 - проволока

Станы мокрого волочения со скольжением представляют ряд дисков (шайб) разного диаметра, которые расположены на одном валу. Перед каждым диском (тяговой шайбой) расположены волокодержатели с волками. Для изменения направления движения и пере-

хода от одного барабана к другому имеются обводные шайбы, имеющие одинаковый диаметр с рабочими. Волоки, тяговые и обводные шайбы погружаются в жидкую смазку, которая непрерывно их омывает в процессе волочения.

Смазка в этом случае уменьшает трение в волоках, на тяговых и холостых шайбах и одновременно охлаждает шайбы и волочильный инструмент. Разница скоростей тяговых шайб  $i$  обеспечивается за счет изменения диаметра шайбы или её угловой скорости. Передаточное число  $i$  имеет постоянное значение и заложено в конструкции стана.

Многократные машины со скольжением (рис. 3.9) характеризуются постоянной скоростью вращения всех промежуточных и чистового шкивов на протяжении всего цикла волочения и вместе с тем некоторым относительным скольжением проволоки на промежуточных шкивах, которое может меняться в ту или другую сторону в зависимости от износа канала волок. Сила волочения развивается вытяжными шкивами благодаря силам трения, которые возникают между соприкасающимися поверхностями шкива и охватывающей его проволокой.

На машинах со скольжением скорость вращения шкивов на 2-4 % превышает скорость выхода проволоки из волоки. Такие машины в зависимости от расположения и конструкции рабочих шкивов могут быть с горизонтальными или вертикальными шкивами. Шкивы могут быть цилиндрическими или ступенчатыми. Станы с цилиндрическими шкивами применяют сравнительно редко. Более распространены станы со ступенчатыми шкивами, применяемые для волочения преимущественно тонкой и наитончайшей проволоки. Станы для волочения проволоки средних и тонких диаметров имеют 5-15 волок, а для тончайшей и наитончайшей и микронной проволоки 9-25 волок.

#### *Линии волочения в роликовых волоках*

Применение в качестве инструмента для обжатия по сечению волок из твердых сплавов накладывает на этот процесс ряд ограничений. Прежде всего, даже при самых благоприятных условиях, стойкость волок недостаточно высока. Для обеспечения длительного срока службы волок при волочении проволоки необходимо следующее:

- поверхность катанки должна быть исключительно чистой и, кроме того, должно быть высокое качество прокатки (отсутствие овальности, бокового облоя, закатов, расслоений и окалины);

- волокни должны эффективно охлаждаться;
- между проходами волочения проволоки должна максимально охлаждаться (барабаны волочильной машины должны иметь эффективное охлаждение);
- порошок мыльной смазки должен быть сухим и иметь определенный гранулометрический состав;
- скорость волочения проволоки в зависимости от диаметра, конечного размера и кратности волочильной машины не должна превышать определенной величины, например, при диаметре от 3 до 12 мм быть не более 7 м/с;
- количество остановок волочильной машины должно быть минимальным во избежание налипания металла в момент начала процесса волочения;
- волока должна быть изготовлена без дефектов и иметь хорошо отполированный внутренний канал правильной геометрии;
- необходима точная соосная установка волоки в мыльницу во избежание входа и выхода проволоки под углом.

Опыт показывает, что стойкость волок при волочении проволоки диаметром от 3 до 10 мм из низкоуглеродистой стали не превышает 1,5 т на каждые 0,01 мм увеличения диаметра. Таким образом, при допуске на диаметр  $\pm 0,05$  мм волоку необходимо менять через каждые 15 т.

Последние несколько десятилетий в Европе все большее предпочтение отдают холодной прокатке проволоки, особенно больших размеров в роликах (в СНГ этот процесс обычно называют волочением в роликовых волоках).

Формообразование металла в неприводных валках (роликах) прокаткой, или иначе процесс волочения в роликовых волоках, является достаточно новым направлением в производстве метизов. Первые роликовые волокни были созданы в конце прошлого века и применялись в ювелирной промышленности для профилирования драгоценных металлов. Преимущества, присущие процессу — высокая производительность и лучшее качество изделий, чем при обычном волочении, — обеспечили роликовым волокам быстрое внедрение в производство мягких цветных металлов. Применение роликовых волок для обработки железосодержащих металлов потребовало существенного качественного изменения конструкции, а именно увеличения жесткости корпуса и усиления подшипникового узла. Это потребовало много времени, и лишь в 50-х годах были созданы конструкции

роликовых волок, удовлетворяющих требованиям холодной обработки высокопрочных металлов. Различные модификации созданных роликовых волок имеют мощный подшипниковый узел и значительную жесткость, что позволяет выдерживать высокие нагрузки в течение длительного времени. Одновременно они достаточно компактны и удобны в эксплуатации. С тех пор роликовые волокна непрерывно совершенствуются, и процесс находит все новые сферы применения.

В современном метизном производстве получает широкое применение холоднодеформированные арматурные профили. Для их производства применяют линии, в которых деформирующий инструмент - роликовые волокна. Последняя чистовая роликовая волока имеет рельеф на поверхности калибра соответствующего арматурного профиля.

Рассмотрим принципиальную схему линии:

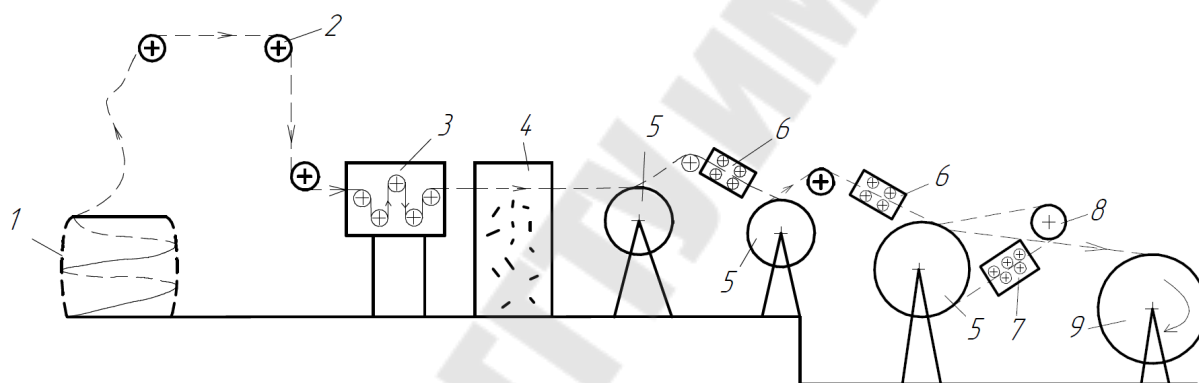


Рис. 6.9. Схема линии волочения в роликовых волокнах

### 6.3 Волочильный инструмент

Волочильным инструментом называют волоку или фильеру. На выходе из волоки получают профиль сечения и формы, соответствующих размерам и форме канала волоки (рис.6.10).

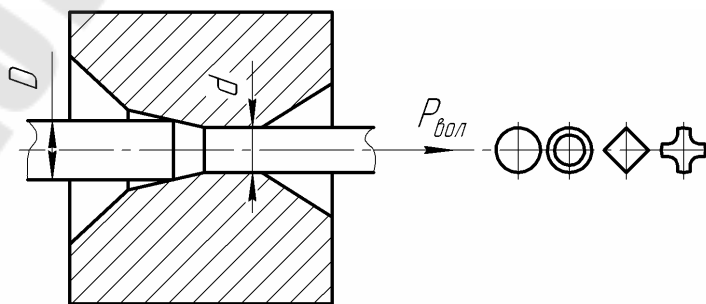


Рис.6.10. Схема процесса волочения

Конструкция волоки может быть разная. Волока может быть монолитной с проточным сужающимся каналом, может быть дисковой, состоящей из двух или трех дисков - роликов, в которых сужающийся канал соответствует уменьшенному зазору в прокатных валках. Основное отличие прокатки и волочения состоит в том, что при прокатке деформирующее усилие прикладывается через инструмент – прокатные валки, а при волочении – через тянущее устройство, которое прикладывает деформирующее усилие к заготовке на выходе из инструмента. Поэтому, если при прокатке условием выполнения процесса является условие захвата полосы валками, то при волочении условием выполнения процесса является превышение предела текучести материала на выходе из волоки под напряжением от тянущего устройства. Это условие можно назвать условием отсутствия обрывности.

По конструкции волоки различают - монолитные, роликовые и шариковые.

#### *Элементы монолитной волоки*

*Монолитной* называют волоку конструкция, которой состоит только из одной детали. Это самый распространенный вид волок, используемый в производстве проволоки и прутков, стержней.

Рассмотрим схему этой волоки (рис.6.11).

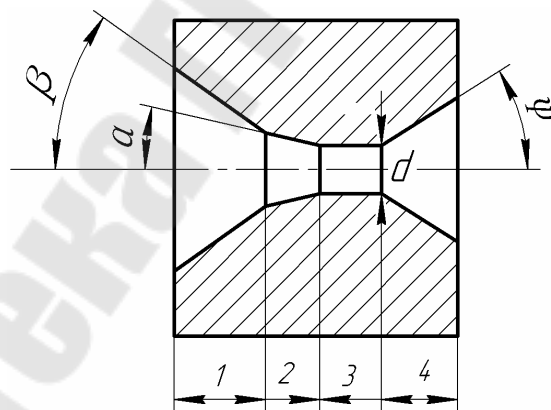


Рис. 6.11. Схема монолитной волоки

#### *Основные зоны волоки:*

1-входная зона, служит для ввода заготовки в волоку, обеспечивает подачу смазки. Устраняет возможность образования задирок на поверхности заготовок об острые края волок. Форма поверхности зоны может быть коническая, радиальной, двуконической, комбинированной (радиально – конической), образующей угол  $2\beta = 40..60^\circ$ ;

2- рабочая (деформирующая) зона. Обеспечивает деформацию сечения заготовки, характеризуется углом  $\alpha$ , изменяется в диапазоне от 4 до 12°. Эта зона также обеспечивает захват смазки вначале деформации;

3- калибрующая зона, обеспечивает получение требуемой точности, размеров и формы получаемого профиля. Повышает прочность рабочей зоны волокни, увеличивает радиус волокни в целом, уменьшает износ выходного сечения. Всегда имеет цилиндрическую форму;

4- выходная зона, служит для устранения возможности образования задира на поверхности обрабатываемого металла о края калибровочного пояска. Повышает стойкость выходной плоскости волокни от выкрашивания, смещает очаг деформации волокни ближе к середине волокни, что повышает стойкость волокни. Форма зоны может быть коническая, сферическая (радиальная), комбинированная (радиально-коническая). Характеризуется углом  $\gamma$ , изменяющимся в диапазоне от 30 до 45°.

*Материал волокни* – искусственный алмаз или твердый сплав, обработанный с помощью алмазного инструмента.

*Роликовые волокни* (рис.6.12)

Усилие волочения прикладывается к изделию на выходе из ролика. Основное преимущество волокни низкий коэффициент контактного трения. Т.к. трение в зоне деформации изменено, в роликовых волокнах контактное трение соответствует трению качения, а в монолитном трению скольжения. Роликовая волокна может иметь специальный профиль, нанесенный на калибр. С помощью таких калибров получают упрочненную арматурную проволоку.

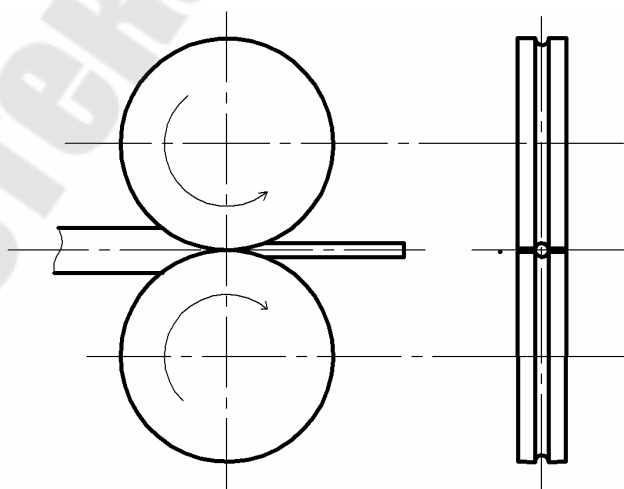


Рис. 6.12. Схема роликовой волокни

### *Шариковые волокни (рис. 6.13)*

Используют для получения тонкостенных труб. При волочении сепаратор удерживают шарики, вращающиеся с помощью специального механизма. Шарики обкатывают трубную заготовку, деформируя его стенку.

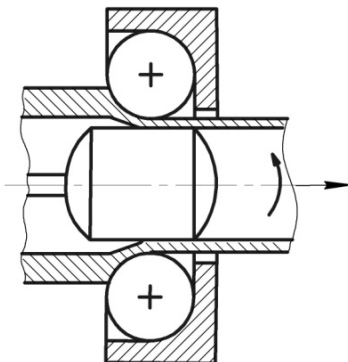


Рис. 6.13. Схема шариковой волоки

*Монолитные волокни, совмещенные с оправками* используют для волочения труб (рис. 6.14), представляют собой монолитную волоку в центре кот введена оправка - может быть подвижной подвижный цилиндр, неподвижный цилиндр и самоустанавливающийся неподвижной конической.

Угол оправки подбирается так, чтобы силы втягивающие оправку равнялись силе выталкивающей оправку. При этом условии оправка само устанавливается и образуется очаг деформации с каналом волоки.

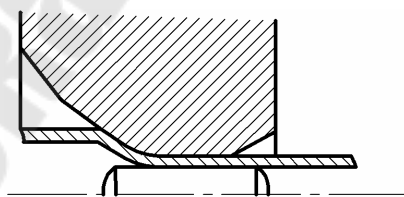


Рис. 6.14. Схема волоки для волочения трубы

### *Сдвоенные волокни (рис. 6.15)*

Представляют собой набор волок из 2-х штук расположенных последовательно по ходу волочения. Волока обеспечивает уменьшение степени деформации заготовки в отдельной волоке. Это свойство называется дроблением деформации. Дробление деформации способствует повышению качества.

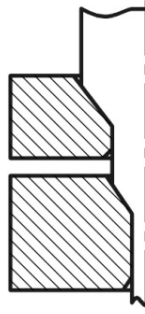


Рис. 6.15. Схема сдвоенной волоки

#### 6.4 Вспомогательное оборудование волоочильных цехов

*Размоточные, приемные устройства волоочильных станов.*

Размоточные устройства волоочильных станов разделяются на:

- разматывающие проволоку из бухт;
- разматывающие проволоку с катушек.

*Размоточные устройства станов тонкого волочения*

Станы тонкого волочения, а также станы среднего волочения разматывают проволоку с катушек. Рассмотрим схему размотки проволочной заготовки с катушки (рис. 6.16).

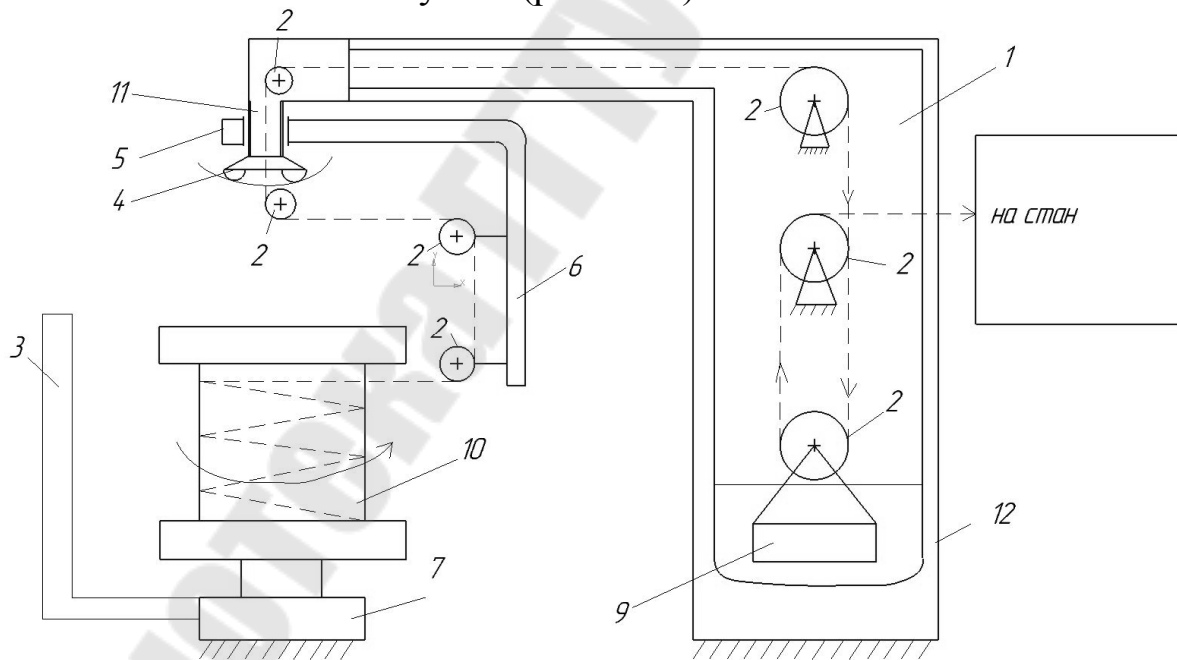


Рис. 6.16. Размоточное устройство стана тонкого волочения

Катушка 10 с проволочной заготовкой устанавливается на приемный стол размотки 7. Пространство катушки ограничено защитной



оградой 3, которая фиксируется после установки катушки. С катушки снимается необходимое количество витков для заправки в устройство.

Траектория проволоки определяется направляющими роликами 2. Далее проволока заправляется в волочильный стан и далее протягивается в намоточное устройство. После этого включается привод стана - начинается процесс волочения.

При волочении размотка работает так: под действием движущейся проволоки рычаг 6 начинает вращаться. Противовес 5 позволяет удерживать равновесие, а тормозное устройство 4 позволяет создать сопротивление вращению рычага 6 и этим установить натяжение проволоки при размотке. Некоторое натяжение необходимо для исключения провисания и запутывания витков проволоки, снимаемых с катушки. С неподвижной катушки рычаг начинает снимать витки проволоки, движущейся в направлении волочильного стана.

Опорный механизм 11 удерживает рычаг в устойчивом положении относительно вертикальной оси и позволяет свободно ему вращаться вокруг этой же оси. Сама проволока натяжением от силы волочения вызывает вращение рычага 6. Далее проволока поступает в тоннель поворотной консоли 1. Возможность вращения консоли позволяет поочередно снимать проволоку с разных катушек (рис. 6.17).

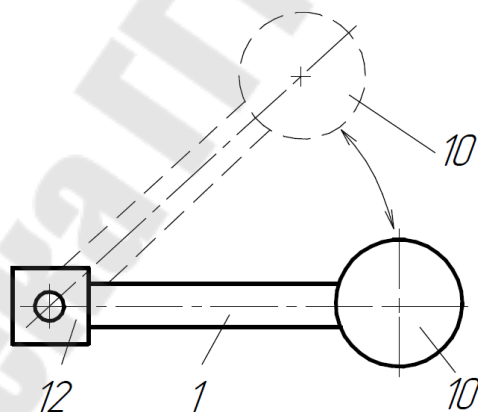


Рис. 6.17. Схема поворота консоли

Возможность одновременной установки 2-х катушек позволяет обеспечить непрерывный процесс волочения при замене заготовки. Если одна из катушек заканчивает свой запас проволоки, то соседний приемник доставляет новую полную катушку и после выработки первой катушки сразу заправляется вторая без паузы.

Выполняется стыковая сварка конца проволоки предыдущей катушки с началом 2-й катушки и волочение продолжается. Далее

проволока поступает в опорную стойку 12. Здесь она огибает ролики по схеме. Особенностью стойки является наличие компенсирующего механизма 9.

Этот механизм стабилизирует натяжение проволоки перед волочением, также служит предохранительным устройством - останавливает стан, если натяжение проволоки резко возрастает. Рост натяжения возможен при запутывании витков.

Концевой выключатель 8 автоматически отключает привод волочильного стана, если запас проволоки волочильной заготовки закончен.

#### *Намоточные устройства станов тонкого волочения*

После волочения проволоку необходимо намотать на приемную катушку, выполняя следующие условия:

1) витки должны быть уложены ровными рядами;

2) заполнение катушки должно быть ровным по всей ее длине.

Натяжение проволоки при намотке на катушку должно быть постоянным. Постоянство натяжения проволоки при намотке обеспечивает постоянство плотности укладки витков.

Рассмотрим схему намоточного устройства стана тонкого волочения (рис. 6.18).

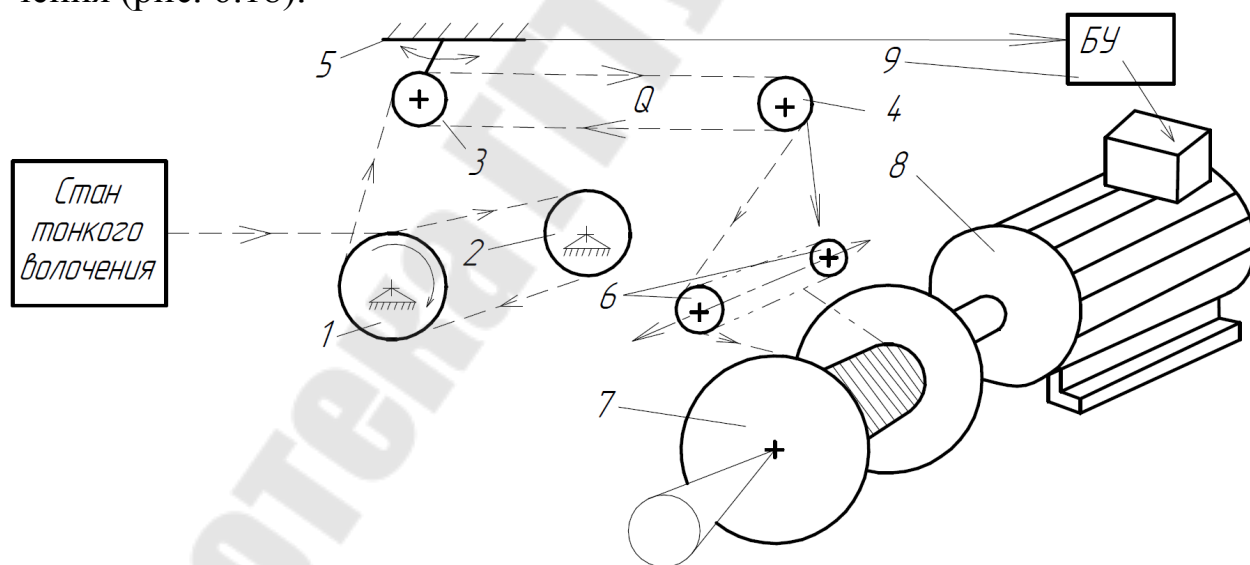


Рис. 6.18. Намоточное устройство стана тонкого волочения

Проволока из волочильного стана протягивается с помощью усилия чистового тягового барабана 1. Следующими 2-мя витками она огибает шкив 2. Он связан с устройством регулирования скорости волочения и контроля натяжения проволоки в стане. Далее проволока

поступает в механизм контроля величины натяжения  $Q$  проволоки при намотке на приемную катушку 7. Этот механизм состоит из элементов 3,4,5. Ролик 4 неподвижен. Ролик 3 подвижен. Он закреплен на рычажном механизме 5. Необходимая величина натяжения устанавливается следующим образом: на рычаге 5 создают предварительно требуемое натяжение намотки  $Q$  между роликами 3 и 4. Предварительное натяжение создают при помощи груза на обратной стороне рычага 5.

Далее проволока поступает на направляющий ролик 6, а затем на приемную катушку 7. Опора ролика посредством синхронизирующего механизма передвижения совершает возвратно-поступательное движение вдоль поверхности катушки. Скорость этого движения связана со скоростью вращения катушки. Если величина натяжения  $Q$  становится меньше требуемой, то между роликами 3 и 4 петля увеличивается и через датчики на блок управления 9 поступает соответствующий сигнал для увеличения скорости вращения двигателя приемной катушки 8. При снижении величины натяжения происходят обратные действия.

При намотке линейная скорость движения проволоки постоянна, а для этого угловая скорость вращения катушки уменьшается по мере ее заполнения.

После полного заполнения приемной катушки срабатывает соответствующий датчик и волоочильный стан выключается для смены катушек. Оператор отрезает проволоку на уровне ролика 6, фиксирует конец в новой катушке и включает привод стана.

#### *Размоточные устройства станов грубого волочения*

Волоочильные станы грубого волочения в качестве заготовки используют бухты катанки. Для подачи в стан применяются размоточные устройства безынерционной размотки катанки с вертикально расположенных бухт (рис.6.19).

Размоточное устройство работает следующим образом. Две исходные бухты катанки 5 устанавливаются вертикально на столе размоточного устройства. Подвижная каретка 1 опускается вниз и катанка запускается в размоточное устройство.

В начале катанка подается в приемную корзину 3, конус которой позволяет выпрямлять витки катанки. Далее через направляющие ролики 2, катанка подается на 2-х плоскостное рихтовальное устройство 4, которое дополнительно выравнивает витки катанки в прямую линию.

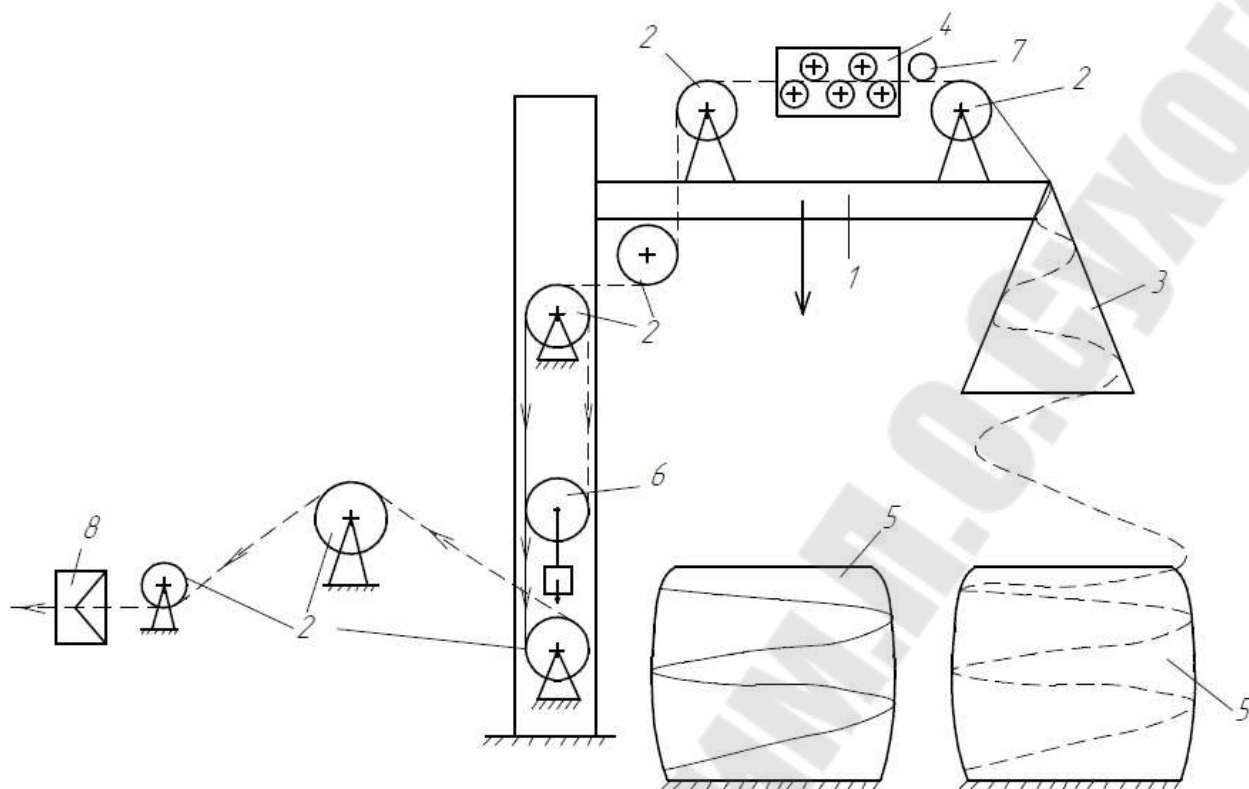


Рис. 6.20. Размоточное устройство стана грубого волочения

Затем, посредством направляющих роликов, катанка поступает в компенсирующее устройство. Оно имеет компенсирующую каретку с подвижным центральным роликом 6. Катанка огибает ролики компенсирующего устройства несколько раз. Центральный подвижный ролик нагружен определенной гравитационной силой от груза, которая устанавливает требуемое натяжение катанки перед входом в волочильный стан.

Далее, через направляющие ролики, катанка заправляется в волоку 8 и на первый тяговый барабан.

Подвижная каретка 1, после заправки стана, поднимается вверх и включается привод тяговых барабанов и намоточного устройства.

В случае обрыва катанки или окончания бухты датчик 7 подает сигнал и привод отключается. Подвижная каретка 1, свободно вращаясь в горизонтальной плоскости, устанавливается над новой бухтой, концы катанки свариваются и процесс волочения возобновляется. Во время работы с одной бухтой на освободившееся место устанавливается другая.

*Намоточные устройства станов грубого волочения*

Намоточные устройства станов грубого и среднего волочения предназначены для приема протянутой проволоки на приемную катушку, расположенную в горизонтальной плоскости (рис. 6.21).

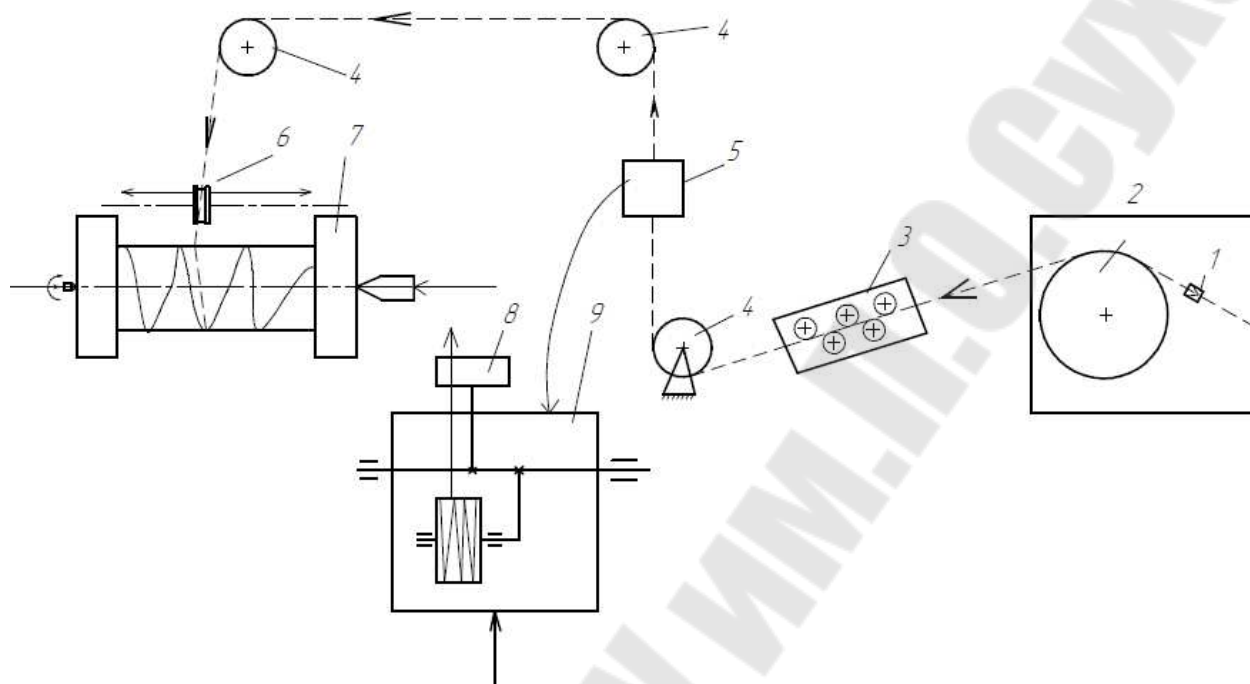


Рис. 6.21. Намоточное устройство стана грубого волочения

После обработки в чистовой волоке 1 проволока обвивает поверхность последнего тягового барабана 2. Количество витков на барабане достаточно для исключения проскальзывания проволоки.

Далее проволока поступает в рихтовальное устройство 3. Оно предназначено для повышения прямолинейности проволоки, которая была скручена на барабане 2.

Далее через направляющие ролики 4 проволока поступает в устройство контроля усилия натяжения проволоки 5 при намотке. Далее, через направляющие ролики проволока поступает в приемную катушку 7. Равномерную укладку витков обеспечивает укладывающее устройство 6.

Привод катушки 7 осуществляется устройством с регулированием частоты вращения, управляемого блоком контроля натяжения 5. В нем имеется рычажное устройство, состоящее из ролика с подвижной осью 9 и рычага 8, нагруженного определенной массой, определяющей усилие натяжения.

При изменении степени натяжения проволоки рычаг 8 отклоняется от нормального положения и подает сигнал на привод катушки 7

с целью изменения частоты вращения в ту или иную сторону. При уменьшении натяжения – частоту увеличивают, и наоборот.

Таким образом, независимо от радиуса намотки проволоки на катушку, усилие натяжения укладки витков на катушку остается постоянным. При этом линейная скорость проволоки остается постоянной и равна скорости волочения в последней чистовой волоке.

## 6.5 Канатные машины

До начала 90-х годов изготовление стальных проволочных канатов производилось почти исключительно одинарной свивкой. Данные машины характеризуются невысокой производительностью, небольшой емкостью питающих катушек, большими габаритными размерами. Развитие свивочного оборудования от одинарного способа свивки, осуществляемого на корзиночных, сигарных машинах или типа «Skip», к способу двойного кручения было связано с постоянной необходимостью повышения производительности при производстве канатных изделий. При способе двойного кручения в результате свивки проволоки металлокорда собираются в пучок с определенным расположением проволок или прядей. Дальнейшее их скручивание производится в два этапа изменения шага свивки: сначала с шагом в 2 раза большим, чем в готовом металлокорде, затем до готового. Имеются два основных типа машин двойного кручения:

1) с расположением разматывающих катушек внутри свивочной части машины и приемной катушки вне машины;

2) с расположением приемной катушки внутри свивочной части машины, при этом питающие катушки находятся вне машины.

Первоначально машины двойного кручения появились в кабельной промышленности для скручивания жил или проводов из меди и алюминия. При переходе к изготовлению канатных изделий из стальной проволоки повысились требования к качеству сырья для проволоки под стальные канаты, так как проволока при свивке методом двойного кручения испытывает неблагоприятную крутильную деформацию, которая часто приводит к обрывам проволок. Но на этом процесс развития способов свивки не остановился. В последнее время появились машины так называемого модульного типа, когда отдельные модули представляют собой законченные механизмы со своей системой привода и управления. Такие модули

могут состыковываться между собой в единое оборудование. Так, например, состыковка двух машин двойного кручения первого и второго типов позволила получить новую машину «тандем» с повышенной производительностью.

*Канатные машины двойного кручения с внутренним расположением питающих катушек*

Машины двойного кручения широко применяются во всем мире при изготовлении металлокорда. Особенностью метода двойного кручения является то, что при образовании винтовой линии проволока подвергается подкручиванию в сторону развития спирали. При этом проволока совершает один оборот вокруг своей оси на длине шага свивки. На рисунке 6.22 показано подкручивание проволок при их укладке в спираль в процессе свивки на машинах двойного кручения.

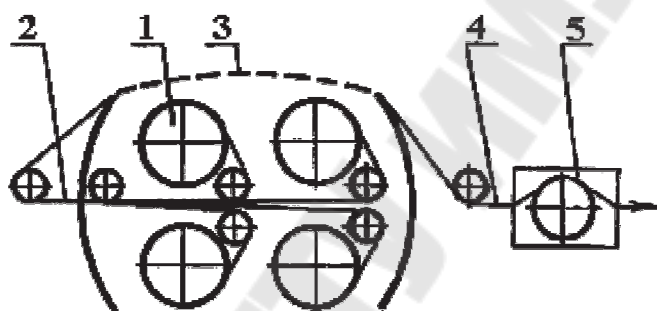


Рис. 6.22. Кинематическая схема крутильного узла машины двойного кручения с внутренним расположением питающих катушек («изнутри – наружу»): 1 – питающая катушка; 2 – первичная свивка; 3 – «баллон»; 4 – вторичная свивка; 5 – торсионный узел

При свивке на машинах двойного кручения укладка проволок в пучок может быть «неорганизованной» и «организованной». «Неорганизованная» свивка используется при изготовлении пряжей или канатов простых конструкций, например  $2xd$ ;  $3xd$ ;  $4xd$ ;  $2 \times 1xd$ ;  $2 \times 2xd$  и т. д., как правило, на машинах с расположением питающих катушек внутри свивочного модуля. «Организованная» свивка применяется при изготовлении металлокорда многослойных конструкций (спиральных, компактных) и с целью снижения габаритных размеров изготавливается на машинах двойного кручения с расположением питающих катушек вне свивочного модуля.

Метод двойного кручения, как более производительный, получает все большее распространение при производстве витых изделий.

В то же время метод имеет свои специфические особенности, которые накладывают ряд ограничений в его использовании для конструкций металлокорда на параметры технологии свивки, и выдвигает повышенные требования к качеству металла и способам пластической деформации при изготовлении проволоки.

В таблице 6.1 приведены ряд технических характеристик машин типа «изнутри-наружу», которые используются на ОАО «БМЗ» при производстве металлокорда.

Таблица 6.1

**Техническая характеристика канатного оборудования ОАО «БМЗ»**

Техническая характеристика	Канатные машины			
	TD2/401	TD2/202	TD2/402	TD2/601
Тип машины	TD2/401	TD2/202	TD2/402	TD2/601
Максимальная частота вращения, об/мин	6000	6000		4700
Максимальное количество круток, крутки/мин	12 000	12 000		9400
Количество зарядных катушек, шт.	4 x1; 4 x4	2 x2	2 x4; 4 x4	2 x1; 2 x2; 3 x2; 4 x3
Диаметры фланцев зарядных катушек, мм	190	190		190
Мощность двигателя, кВт	5,5; 5,9; 7,5	5,9; 7,5		5,9
Уровень шума, дБ	77	77		77
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33			

Одним из основных требований при изготовлении металлокорда конструкций является устранение упругих крутящих моментов для плотного расположения проволок в структуре. Плотность структуры можно оценить по поведению элементов корда после их выплетения из корда.

Таким образом, по кривизне проволоки в свитом состоянии и после выплетения ее из металлокорда можно судить об усилии при-



легания проволок к центральным слоям. Чем меньше остаточная кривизна выплетенных проволок по сравнению с кривизной этих проволок в металлокорде, тем плотнее структура металлокорда.

*Канатные машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек*

Изменение шага свивки на машине с внешним расположением питающих катушек (рис. 6.23), аналогично кинематической схеме, показанной на рисунке 6.22. Процесс свивки на машине, изготовленной по схеме «снаружи–вовнутрь», включает размотку проволоки 7 с питающих катушек 1, установленных на стационарном стенде. Проволоки и сердечник подаются к распределительному шаблону 8, а затем – в конус свивки и формирующие плашки 9. Первичная свивка 2 металлокорда с шагом  $2t_{МК}$  осуществляется за счет вращения ротора со скоростью  $n_p$ , затем баллонирующая свитая нить 3 проходит через крутильные диски к ротору 4. На участке ротор направляющий ролик происходит докрутка витой структуры до шага  $t_{МК}$ . Для устранения упругих крутящих моментов производится пластическое кручение торсионным устройством 5 и намотка на приемную катушку 6. При этом проволоки также подкручиваются вокруг своей оси (см. рис. 6.22).

В таблице 6.2 приведены ряд технических характеристик машин типа «снаружи-вовнутрь», которые используются на ОАО «БМЗ» при производстве металлокорда.

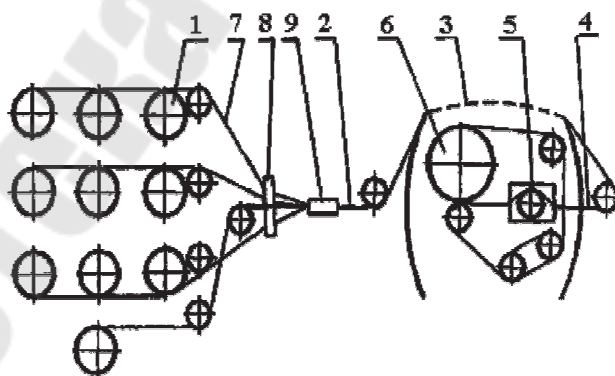


Рис. 6.23. Кинематическая схема свивочной машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек («снаружи-вовнутрь»): 1 – питающая катушка; 2 – первичная свивка; 3 – «баллон»; 4 – вторичная свивка; 5 – торсионный узел; 6 – приемная катушка; 7 – проволока; 8 – распределительный шаблон; 9 – плашки

Таблица 6.2

**Техническая характеристика канатного оборудования ОАО  
«БМЗ»**

Техническая характеристика	Канатные машины		
	RI-10	RI-10 M	RI-10 BM
Тип машины			
Максимальная частота вращения, об/мин	3500	3500	3500
Максимальное количество круток, крутки/мин	7000	7000	7000
Количество зарядных катушек, шт.	18 x 1	2 x 7	2 x 18; 3 x 18
Диаметры фланцев зарядных катушек, мм	190; 275		
Мощность двигателя, кВт	11	11	11
Уровень шума, дБ	77	77	77
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33		

Еще одной особенностью свивки методом двойного кручения металлокорда с сердечником является необходимость создания значительного натяжения сердечника при размотке по отношению к натяжению проволок (прядей) наружного повива. Формирование витых структур с центральным элементом (проволока, прядь или слой проволок) методом одинарного кручения не вызывает трудностей. Двойное кручение таких структур сопровождается накоплением избыточной длины центральных элементов на второй стадии свивки и нарушением структуры из-за потери устойчивости от действия огромных сжимающих усилий проволоками (пряделями) наружного повива, повышенной обрывностью, а также неравномерностью распределения нагрузки при эксплуатации металлокорда в шине.

## Литература

1. Титов, Ю. А. Специальные способы обработки металлов давлением (Раздел 2: основные технологии ОМД) : учебное пособие / Ю. А. Титов, В. Н. Кокорин, А. Ю. Титов. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 78 с.
2. Гулидов, И.Н. Оборудование прокатных цехов / Гулидов, И.Н. - М.: Интермет Инжиниринг, 2004. - 320 с.
3. Кольцераскатка в производстве деталей машиностроения / В. Е. Антонюк [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2013. – 189 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=231217>.
4. Константинов, И.Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением: учебник / И.Л. Константинов, С.Б. Сидельников; Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2015. – 488 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=435694>.
5. Константинов, И.Л. Прокатно-прессово-волочильное производство: учебник / И.Л. Константинов, С.Б. Сидельников, Е.В. Иванов; Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2014. – 512 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364611>.
6. Некипелов, В.С. Оборудование для намотки сортового проката и катанки: теория и конструкции / В.С. Некипелов. – Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. – 144 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493857>.
7. Сидельников, С.Б. Технология прокатки / С.Б. Сидельников, И.Л. Константинов, Д.С. Ворошилов; Сибирский федеральный университет. – 3-е изд., доп. и перераб. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2016. – 180 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497530>.
8. Давильбеков, Н.Х. Оборудование прокатных цехов (учебник) / Н.Х. Давильбеков. - Алматы: КазНТУ, 2002. – 243 с .
9. Колесников, А.Г. Механизмы и устройства рабочих клеток прокатных станов / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 63 с.
10. Кохан, Л.С. Механическое оборудование цехов по обработке металлов давлением / Л.С. Кохан, О.В. Соколов. - М.: Металлургия, 1989. - 624 с.

17. ППП MSC Simufact. v16.0, модуль Forming (демонстрационные версии).

18. ППП SOLIDWORKS 3D CAD, ППП “Plastics, DFM” (демонстрационные версии).

19. Компьютерные презентации кафедры «МиТОМ».

20. Компьютерные презентации инофирм по переделам металлургического производства.

21. Оборудование волочильных и канатных цехов: пособие по курсу «Оборудование метизных цехов» для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления специальности 1-42 01 01-02 "Металлургическое производство и материалобработка (материалобработка)" специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка метериалов давлением» дневной и заочной форм обучения / И. В. Астапенко. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, , 2018. - 55 с.

22. Жаранов, В. А. Технологическое оборудование металлургических цехов : электронный учебно-методический комплекс дисциплины для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)», направление 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» / В. А. Жаранов. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017.

**Астапенко Игорь Васильевич  
Петрусевиц Владислав Александрович**

**ОБОРУДОВАНИЕ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХОВ**

**Пособие  
для слушателей специальности переподготовки  
1-42 01 71 «Металлургическое производство  
и материалообработка»  
заочной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 31.10.22.

Рег. № 34Е.

<http://www.gstu.by>