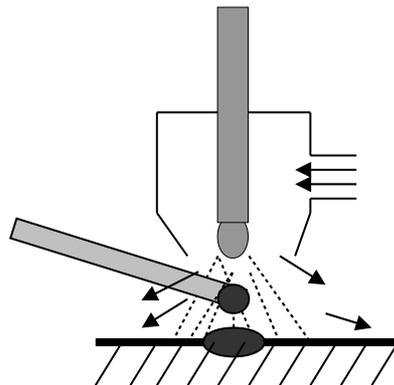


Тюменская государственная  
архитектурно-строительная академия

**Н.В. Храмцов**

# Металлы и сварка

(лекционный курс)



Тюмень-2001



Храмцов Н.В. Металлы и сварка (лекционный курс): Учебное пособие. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2001.-138 с.

В учебном пособии, представляющем собой лекционный курс для студентов специальностей ПГС, ПСК и ТГВ, даны основы теории и практического использования металлов, сплавов и сварки в строительстве.

Табл. 18, Ил.111, Библиогр.:10 назв.

Рецензент: генеральный директор института «Нефтегазпроект, заслуженный строитель России, д-р техн. наук, проф. Малюшин Н. А.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением ВУЗов РФ по строительному образованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «Строительство».

## Введение

Человечество с древних времен знакомо с металлами. Орудия труда, хозяйственная утварь и украшения в основном изготавливались из металла. Освоение материалов шло в последовательности: камень, золото, серебро, медь ( бронза ) и железо, поэтому по материалу орудий труда и оружия исторические периоды развития человечества делятся на каменный, бронзовый и железный века. Следовательно, в настоящее время мы живем в веке железа. Огромны природные ресурсы металлов, так доля железа ( по весу ) составляет 1/3 части всего земного шара, а в поверхностном слое его ( до 1 км ) находятся 5 % железа, 8 % алюминия, 28 % кремния, 47 % кислорода и только 0,0000005 % золота и 0,00001 % серебра . Запасов только разведанных месторождений железа хватит для человечества более чем на два последующих столетия.

На человека в мире приходится в среднем около 4 тонн железа, из которого изготовлены строительные конструкции, трубопроводы, машины, трактора, грузовые и легковые автомобили, бытовые приборы, инструмент и пр. В машинах и строительных конструкциях преобладают детали, изготовленные из стали и чугуна. Более редкие и чаще всего дорогие металлы и сплавы в основном используются в радиоэлектронике и для украшений .

В связи со столь широким использованием металлов в нашей практической деятельности *чрезвычайно велика роль знаний о металлах*, о технологии изготовления и ремонта деталей и конструкций. *Человек, знающий металлы и умеющий их обрабатывать, всегда пользовался уважением и почетом* у всех народов мира. Так единственным «рабочим» богом во многих религиях были кузнецы: Гефест у греков, Сварог у славян, Вулкан у римлян. В Англии многие удачные кузнецы даже становились лордами.

Старинная легенда рассказывает, что царь Соломон по окончании строительства Иерусалимского храма ( XI век до новой эры) задумал прославить лучших строителей и пригласить их во дворец, а на время пира уступить свой царский трон лучшему из лучших- тому, кто особенно много сделал для строительства храма. Когда приглашенные явились во дворец, то один из них быстро взобрался по ступеням золотого трона и сел на него. Его поступок вызвал изумление у присутствующих.

-Кто ты и по какому праву занял трон? - грозно спросил разгневанный царь.

Незнакомец обратился к каменщику и спросил его: Кто сделал твои инструменты?

-Кузнец, - ответил тот.

Сидящий на троне обратился к плотнику, столяру: -Кто вам сделал инструменты?

-Кузнец, - ответили те.

И все, к кому обращался незнакомец, отвечали :

-Да, кузнец выковал наши инструменты, которыми и был построен храм.

И царь согласился с доводами кузнеца, что никто из присутствующих строителей не смог бы выполнить свою работу без сделанных кузнецом инструментов, а сам кузнец заслуживает наибольшего почета среди строителей.

В настоящее время без автомобиля и водителя, без экскаватора и экскаваторщика, без крана и крановщика, без слесаря, токаря, сварщика и других работников, связанных с изготовлением, эксплуатацией и ремонтом машин и металлоконструкций нельзя представить современную стройку.

*Инженер-строитель в своей практической деятельности непрерывно связан с использованием металлов в строительных конструкциях, с организацией труда рабочих и технологией рационального использования машин. Чтобы эффективно руководить производством надо «понимать» металлы и знать основы технологии их обработки, конструкторские особенности машин, особенности эксплуатации и ремонта их.*

## 1. Металлы и сплавы.

Большая часть (3/4) всех химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева – металлы. По своим свойствам они отличаются от неметаллов: сочетают высокую прочность и твердость с хорошей пластичностью, обладают литейными свойствами и возможностью механической обработки, хорошо проводят тепло и электричество, но плохо пропускают рентгеновские лучи и отражают световые волны. Эти свойства обуславливаются особенностями внутриатомного строения металлов..

### 1.1. Кристаллическое строение металлов.

У металлов электроны на внешних оболочках имеют слабую связь с ядром, легко отрываются и могут свободно перемещаться между положительно заряженными ядрами. Следовательно, в металле положительно заряженные ионы окружены коллективизированными электронами. Так как эти электроны подвижны аналогично частицам газа, то используется термин «электронный газ».

Металлургический тип связи характерен тем, что нет непосредственного соединения атомов друг с другом, нет между ними прямой связи. Атомы в металлах размещаются закономерно, образуя кристаллическую решетку.

Кристаллическая решетка - это мысленно проведенные в пространстве прямые линии, соединяющие ближайшие атомы и проходящие через их центры,

относительно которых они совершают колебательные движения. В итоге образуются фигуры правильной геометрической формы - кристаллическая решетка (рис. 1.1).

Расстояния (a,b,c) между атомами, т.е. параметры кристаллической решетки, находятся в пределах  $2...6 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$ ). Каждый атом принадлежит 8

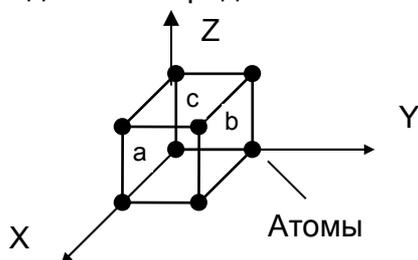


Рис. 1.1. Схема кристаллической решетки.

кристаллическим решеткам. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве, свойства в различных направлениях одинаковы, а в кристаллических телах расстояния между атомами в различных направлениях неодинаковы, поэтому различны и свойства. Тип кристаллической решетки (рис. 1.2) зависит от металла, температуры и

давления. Это используется при термообработке металлов для упрочнения их.

Реальные металлы состоят из большого количества кристаллов, различно ориентированных в пространстве относительно друг друга. На границах зерен атомы

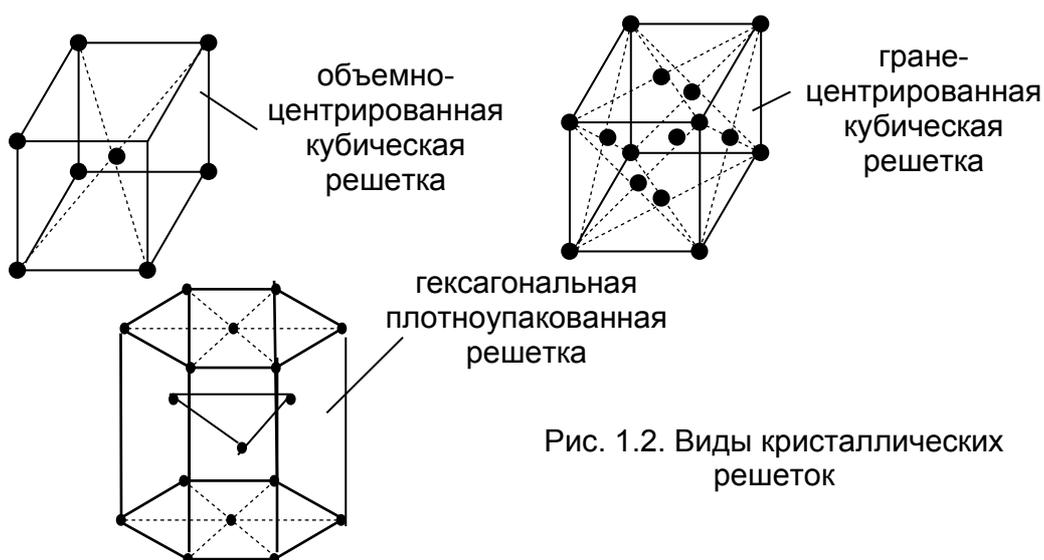


Рис. 1.2. Виды кристаллических решеток

кристаллов не имеют правильного расположения, здесь скапливаются примеси, дефекты и включения. Экспериментально установлено, что внутреннее кристаллическое строение зерен не является правильным. В решетках имеются различные дефекты ( несовершенства ), которые нарушают связь между атомами и оказывают влияние на свойства металлов .

Имеются следующие несовершенства в кристаллических решетках :

1. Точечные (рис. 1.3):

а) Наличие вакансий, т.е. мест в решетке, не занятых атомами. Это происходит из-за смещения атомов от равновесного состояния. Число вакансий увеличивается с ростом температуры.

б) Дислоцированные атомы, т.е. атомы вышедшие из узла решетки и занявшие место в междоузлии.

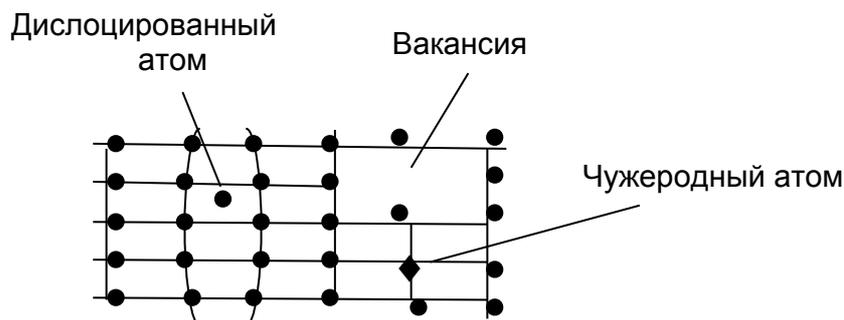


Рис. 1.3. Дефекты кристаллической решетки.

в) Примесные атомы, т.е. в основном металле имеются чужеродные примеси. Например, в чугунах основными атомами являются атомы железа, а примесными - атомы углерода, которые или занимают место основного атома, или внедряются внутрь ячейки.

2. Поверхностные несовершенства, имеющие небольшую толщину при значительных размерах в двух других направлениях.

3. Линейные несовершенства (цепочки вакансий, дислокаций и т. д.). Линейные дефекты малы в двух направлениях и значительно большего размера в третьем.

Количество дефектов в металле оказывает существенное влияние на его прочность. На первом участке кривой (рис. 1.4) при минимуме дислокаций меньше возможностей для сдвига атомов по кристаллической решетке, поэтому будет максимум прочности металла (теоретическая, недостижимая прочность). Путем восстановления из хлористого или бромистого железа в лабораторных условиях выращивают «усы» кристаллов железа длиной до 10 см и диаметром 0,5 ... 1 мкм, имеющие относительно высокую прочность на растяжение ( $\sigma_b = 1200 \dots 1300 \text{ кгс / мм}^2$ ). Для сравнения, высокопрочная сталь имеет прочность всего  $150 \dots 200 \text{ кгс / мм}^2$ , т.е. на порядок ниже, а прочность железных «усов» примерно в 100 раз выше, чем у обычного железа (минимум на кривой).

Повышение прочности с увеличением плотности дислокаций выше их критического значения объясняется тем, что имеются не только параллельные, но и взаимопересекающиеся (объемные) дислокации. Они препятствуют взаимному перемещению металла и, как результат, приводят к увеличению прочности металла.

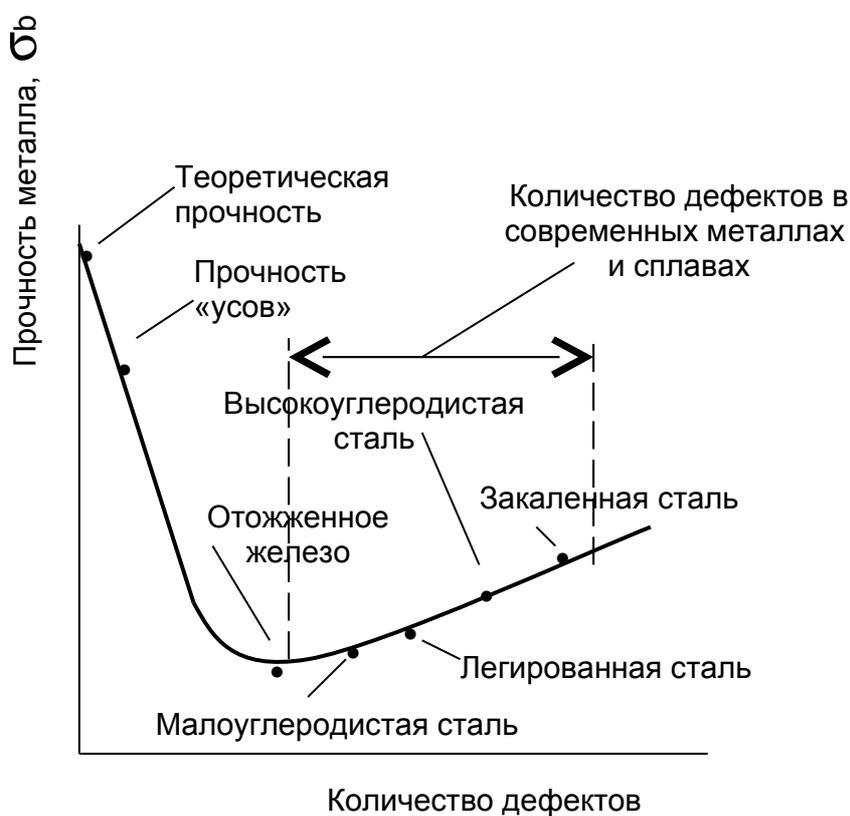


Рис. 1.4. Влияние количества дефектов на прочность сплава (стали).

Все современные способы упрочнения металлов (легирование, закалка, прокатка, ковка, штамповка, волочение и т.д.) — это увеличение количества дефектов в металле. Наивысшая прочность, которую можно получить путем увеличения количества дефектов в металле, составляет около 1/3 от теоретически возможной (идеальной) прочности.

## Кристаллизация металлов.

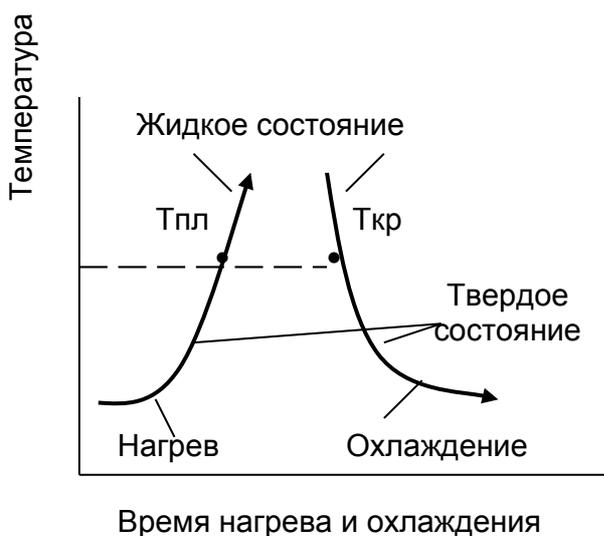


Рис. 1.5. Кривые нагрева и охлаждения аморфного тела.

При нагреве и охлаждении (рис. 1.5) аморфных тел (смола, стекло, пластмассы,...) при переходе из жидкого в твердое состояние качественных изменений не происходит. В твердом состоянии атомы в аморфном теле расположены так же хаотично, как и в жидком, имеют только меньшую степень перемещения. Из рис. 1.5 видим, что температура плавления  $T_{пл}$  равняется температуре кристаллизации  $T_{кр}$ , а переход из одного состояния в другое (из твердого в жидкое — точка  $T_{пл}$ , и из жидкого в твердое — точка  $T_{кр}$ ) происходит скачкообразно.

По другому ведут себя металлы (рис. 1.6). На участке 1 - 2 происходит нагрев металла; кристаллическая решетка сохраняется, но атомы увеличивают амплитуду колебаний за счет поглощенной тепловой энергии. На горизонтальном участке 2 - 3 также подводится тепло, но температура  $T_{пл}$  не повышается, т.к. подводимое тепло целиком расходуется на разрушение кристаллической решетки. Атомы переходят в неупорядоченное (жидкое) состояние. После разрушения последнего участка кристаллов, после точки 3 начинается повышение температуры жидкого металла по линии 3 - 4.

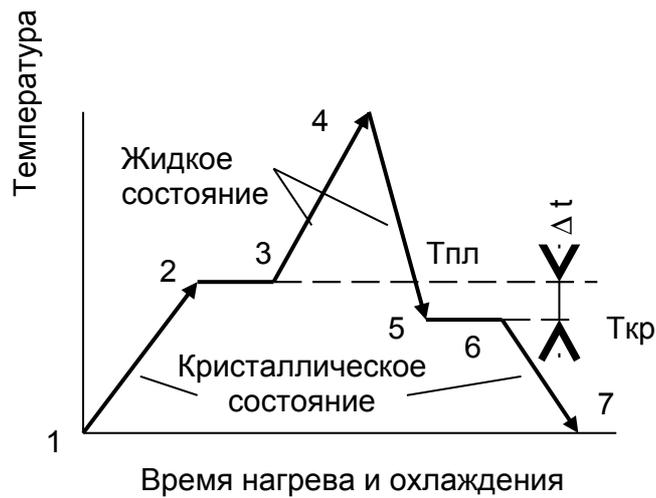


Рис. 1.6. Кривые нагрева и охлаждения металла.

При охлаждении (4 - 5) на горизонтальном участке 5-6 происходит кристаллизация, при которой выделяется тепло, поэтому процесс проходит при постоянной температуре  $T_{кр}$ . Кристаллизация металла происходит не при температуре плавления  $T_{пл}$ , а при некотором переохлаждении  $\Delta t$ , величина которой зависит от природы металла, наличия примесей и от скорости охлаждения.

Кристаллизация начинается с того, что при понижении температуры до значения  $T_{кр}$  начинают образовываться мелкие кристаллики, называемые центрами кристаллизации (зародышами). При дальнейшем уменьшении энергии металла происходит рост кристаллов и в то же время в жидкости возникают новые центры кристаллизации, т.е. процесс кристаллизации состоит из двух одновременно происходящих процессов: ~~Зарождение~~ *Зарождение новых центров кристаллов и роста кристаллов из ранее образованных центров.*

Скорости кристаллизации и числа центров в зависимости от  $\Delta t$  изменяются по закону нормального распределения (рис.1.7).



Рис.1. 7.Влияние степени переохлаждения  $\Delta t$  на процесс кристаллизации.

При переохлаждении (б) образуется мелкое зерно, т. к кристаллы быстро образуются, но медленно растут, а при меньших (а) значениях  $\Delta t$  возникает крупное

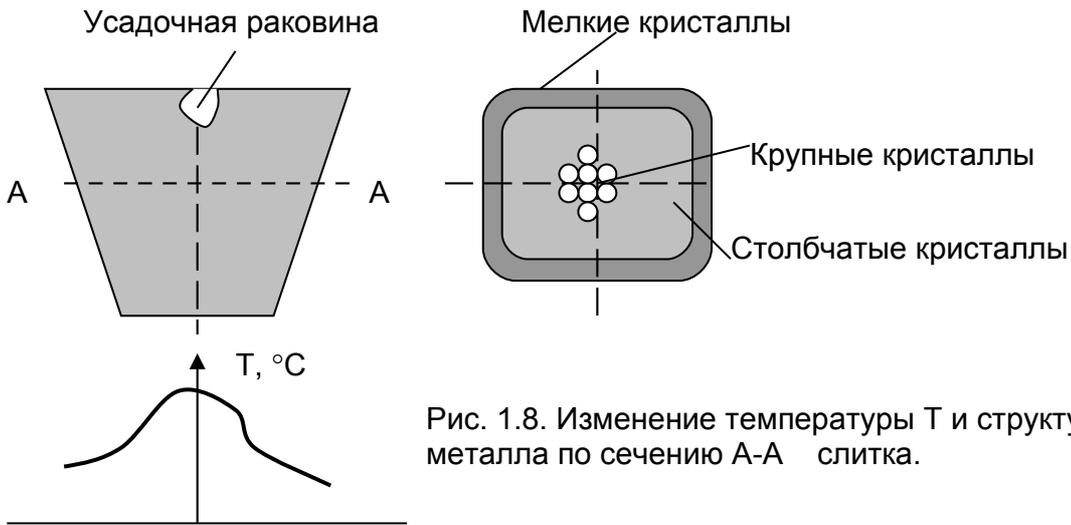


Рис. 1.8. Изменение температуры T и структуры металла по сечению А-А слитка.

зерно. *Мелкокристаллический металл более твердый и прочный, чем крупнокристаллический.* Следовательно, подбором температуры переохлаждения  $\Delta t$  можно регулировать механические характеристики металла. Многие зависят от

количества нерастворимых примесей, которые являются центрами кристаллизации. Чем больше этих частиц, тем меньше зерна металла.

Влияние степени переохлаждения  $\Delta t$  на процесс кристаллизации хорошо видно в структуре слитка (рис. 1.8). Полученная в конверторе или в мартене, сталь (0,5...3 тн) заливается в изложницу. Большой перепад температур (свыше 1500 °С) будет между расплавленным металлом и атмосферой по высоте и ширине слитка. В результате на поверхности слитка, т. е. там, где имеется наибольший перепад температур, будет мелкозернистая структура, а в центре слитка при минимальном перепаде температур возникнут при кристаллизации крупные, а между ними – столбчатые кристаллы.

Российские ученые и практики сделали много открытий в металловедении и технологии обработки металлов. Так, основы научной металлургии и геологии заложил еще Михаил Васильевич Ломоносов, об этом свидетельствует написанный им в 1763 году труд «Первые основания металлургии или рудных дел».

Дмитрий Иванович Менделеев систематизировал в периодической таблице химические элементы, что способствовало развитию многих вопросов металловедения (из известных в то время 63 химических элемента 50 были металлами).

Родоначальником металлургии является и русский горный инженер Павел Петрович Аносов (1797...1851 г.), работающий в городе Златоусте на Урале. Он впервые применил световой микроскоп для изучения микроструктур металлов и нашел секрет булатной стали, заложил основы легирования стали (исследовал добавки золота, платины, хрома, марганца и других элементов к стали).

Дмитрий Константинович Чернов (1839...1921 г.) - основоположник теории и строения стального слитка. Работал на Обуховском заводе г. Санкт-Петербурга.

## **1.2. Требования к металлам.**

Для того чтобы оценить качество материалов и изготовленных из них деталей, поведение их в конкретных узлах, деталях и машинах в изменяющихся условиях эксплуатации, для прогнозирования использования, ремонта и технической эксплуатации машиностроительных и строительных конструкций необходимо знать их свойства.

Это люди давно поняли. И человек в своей практической деятельности сначала на глаз и на ощупь, с помощью простейшего инструмента, а далее с использованием сложных приборов и методик проверял качество предметов и продуктов труда.

Так, в 1722 г. царем Петром I был издан указ « О пробовании железа ». Приборов в то время практически не было, поэтому испытания надо было проводить

доступными и простыми средствами. Основным показателем было разрушение металла при изгибе и ударе. По этому указу железо сортировалось по трем сортам.

Первая проба. Пластины железа трижды огибали и разгибали вокруг столба, диаметром 6 вершков ( 1 вершок = 4,45 см ), вкопанного в землю. Если нет излома и трещин, то железо является первосортным.

Вторая проба. Если железо не выдержало первой пробы (есть трещины или изломы) то проводились последующие испытания, естественно, нового образца, а не ранее разрушенного. Железные полосы били о наковальню сначала одним концом трижды, а потом другим концом - тоже трижды, и «которые выдержат, знака к перелому не будет, то ставить клеймо №2 ».

Третья проба. Если металл не выдержал этих двух испытаний , то ставят рядом с заводским клеймом клеймо №3 .

М. В. Ломоносов впервые предложил испытывать материалы на трение и износ, и была изготовлена для этого специальная машина трения. В 1897 году были разработаны международные нормы по испытанию металлов. Основой расчета деталей до 20 30 годов XIX- го столетия служили показатели статических испытаний: предел текучести, предел прочности и модуль упругости. В 20...30 годах ввели понятия усталостной прочности, предела усталости при знакопеременных нагрузках , при изгибе, кручении и растяжении – сжатии.

Качество металлов это комплексный показатель (рис.1.9). Нельзя по

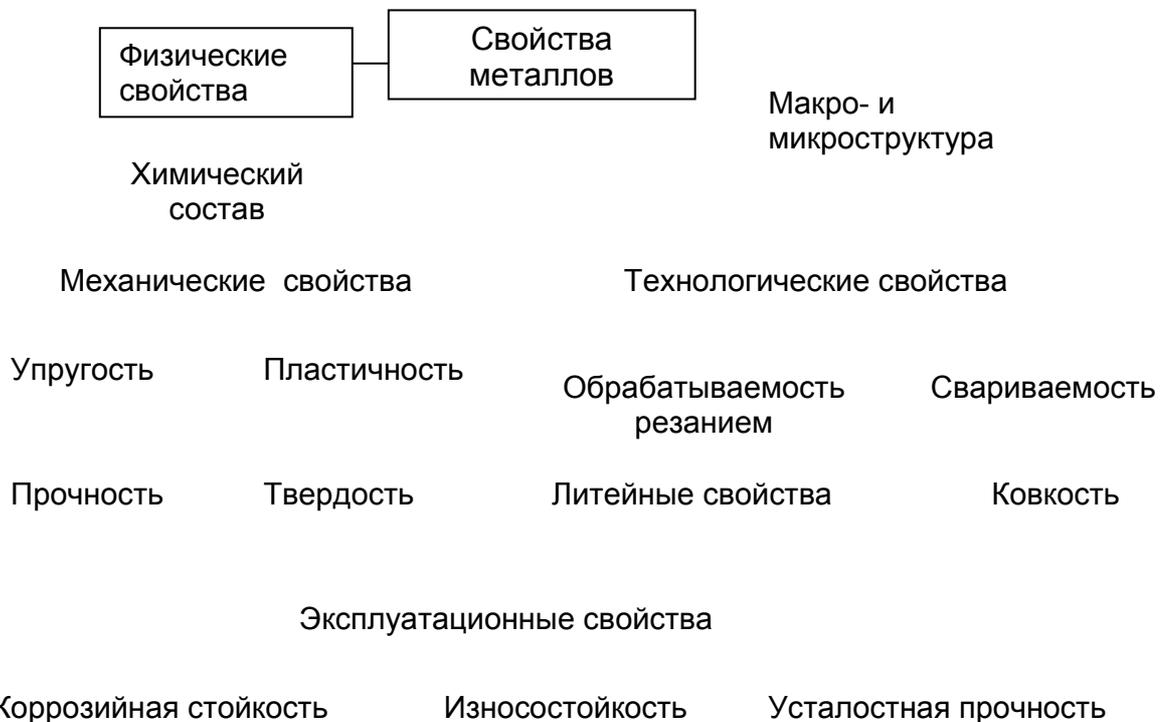


Рис. 1.9. Свойства металлов и сплавов.

отдельному показателю оценить качество. Например, металл может быть очень твердым (хороший показатель), но хрупким и недолговечным (плохие показатели).

Комплекс свойств металлов можно разделить на группы, дающие ответы на вопросы по их практическому использованию ( табл. 1.1) .

Таблица 1.1

## Основные группы свойств металлов.

| Свойства металлов и сплавов  | На какие вопросы отвечают                                  |
|--|--|
| Химический состав  | Что заложено?  |
| Структура металла  | Как заложено?  |
| Физические характеристики (электропроводность, плотность, твердость теплопроводность, цвет, температуры плавления и кристаллизации ,...) | Каков материал по физическим свойствам ?                   |
| Механические свойства (пластичность, прочность, вязкость, упругость,...)   | Каковы возможности использования материала?                |
| Технологические свойства (литейные ,ковкость, свариваемость, обработка резанием,...)   | Как изготовить деталь?                                     |
| Износостойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость,...   | Какова долговечность детали , изготовленной из материала ? |

Свойства металлов определяются различными методами : физическими, химическими и технологическими.

**Твердость** характеризует сопротивляемость материалов пластическим деформациям. *Чем выше твердость, тем больше прочность и меньше износ детали.* Особенно это имеет большое значение для рабочих органов (лапа, лемех, нож) строительных и дорожных машин, работающих в условиях абразивного ( песок, щебень, ...) изнашивания .

Твердость определяется по вдавливанию шарика, алмазного конуса или алмазной пирамидки в металл. Значение твердости характеризуется диаметром отпечатка или глубиной внедрения индентора ( закаленного шарика, алмазного конуса или алмазной пирамиды). Естественно, чем тверже материал, тем меньше будет его деформация, соответственно, меньше диаметр и глубина отпечатка ). Чаще всего используются три основных метода определения твердости: по Брюнеллю, Роквеллу и Виккерсу.

При определении твердости (рис. 1.10) **по Бринеллю** в испытываемую поверхность вдавливаются стальной закаленный шарик диаметром  $D = 2,5 ; 5$  или  $10$  мм при нагрузках в пределах  $0,625 \dots 30$  кН. Далее замеряется диаметр отпечатка.

Число твердости по Брюнеллю представляет собой отношение нагрузки  $P$  (в кгс) к площади  $F$  ( в  $\text{мм}^2$ ) поверхности отпечатка :

$$HB = P / F = 2P / \pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}] \text{ кгс} / \text{мм}^2.$$

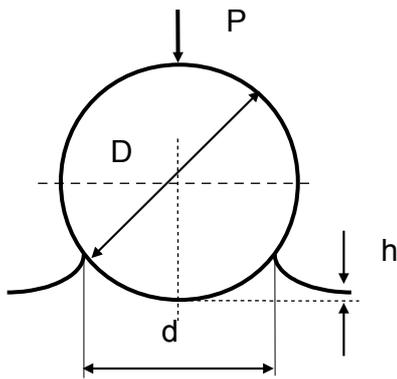


Рис. 1.10. Схема определения твердости по Бринеллю.

По физической сущности твердость по Бринеллю является напряжением и выражает сопротивление пластической деформации.

Существует линейная связь между твердостью и прочностью материала:

для сталей и алюминиевых сплавов-

$$\sigma_{\text{в}} = 0,35 \text{ HB} ;$$

для медных сплавов -  $\sigma_{\text{в}} = 0,45 \text{ HB} .$

Диаметр шарика  $D$  выбирается в зависимости от толщины  $h$  детали:

$$D = 2,5 \text{ мм} - h < 3 \text{ мм};$$

$$D = 5 \text{ мм} - h = 3 \dots 6 \text{ мм};$$

$$D = 10 \text{ мм} - h > 6 \text{ мм}.$$

Значение нагрузки  $P$  ( в кгс) зависит не только от диаметра шарика  $D$ , но и от материала детали. Для более твердых материалов необходима большая нагрузка, поэтому в нижеприведенных формулах коэффициент для стали (30) больше, чем для более мягких материалов (10- для бронзы и латуни; 2.5- для олова):

$$P = 30 D^2 \text{ — сталь, чугун};$$

$$P = 10 D^2 \text{ — бронза, латунь};$$

$$P = 2,5 D^2 \text{ — олово, свинец и другие мягкие металлы}.$$

Примеры обозначения твердости по Бринеллю: 185НВ, 200НВ, 86НВ. Чем больше цифра, тем больше твердость материала (200НВ > 86НВ).

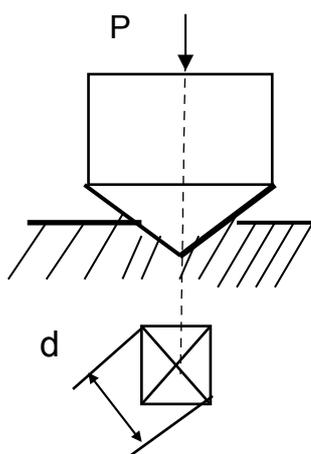


Рис. 1.11. Схема определения твердости по Виккерсу.

**P**

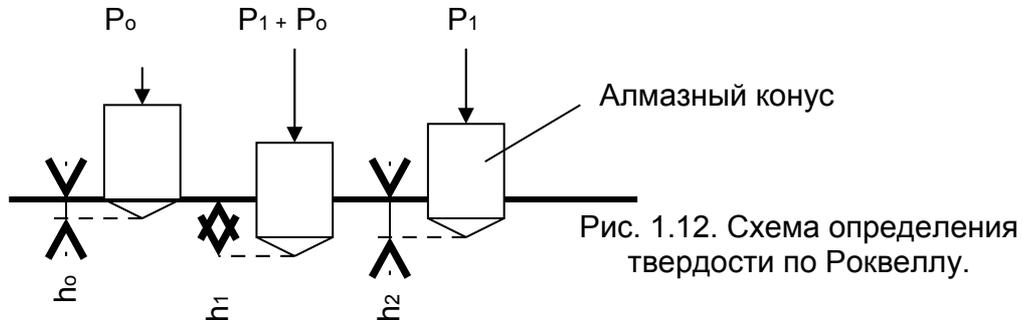
Твердость металлов **по Виккерсу** ( рис. 1.11) определяется аналогично как и по Бринеллю, но вместо шарика используется алмазная 4-х гранная пирамида:

$$HV = P / F = 1,8544 P / d^2, \text{ кгс /мм}^2.$$

где  $F$ ,  $d$  — поверхность и диагональ отпечатка;

$P$ - нагрузка на пирамидку, кгс .

Диagonalь  $d$  определяется с помощью микроскопа, вмонтированного непосредственно в прибор. Этот способ используется для небольших деталей и при научных исследованиях. Значения твердости материалов, определенных по Брюнеллю (НВ) и Виккерсу (НV) совпадают. Примеры обозначения твердости по Виккерсу: HV180, HV 295.



При определении твердости по **Роквеллу** (рис. 1.12) в испытываемый металл вдавливаются алмазный конус ( угол конуса  $120^\circ$  ) или стальной закаленный шарик диаметром 1,6 мм под определенной нагрузкой: сначала предварительной  $P = 10$  кгс, далее основной - 60, 100 или 150 кгс. На приборе имеются три шкалы А, В и С для отчета соответствующей твердости HRA, HRB и HRC. Число твердости по Роквеллу характеризует глубину внедрения индентора ( шарика или конуса) под определенной нагрузкой ( 60, 100 или 150 кгс). Твердость HRC, HRA, HRB определяется по формулам, соответствующим режимам ее определения ( вид индентора и величина нагрузки) :

$$\text{HRC} = 100 - e \quad (\text{алмазный конус, } P = 150 \text{ кгс});$$

$$\text{HRA} = 100 - e \quad (\text{алмазный конус, } P = 60 \text{ кгс});$$

$$\text{HRB} = 130 - e \quad (\text{шарик, } P = 100 \text{ кгс}),$$

$$\text{в которых } e = 0,002 h_2 \approx 0,002 (h_1 - h_0).$$

Следовательно, твердость по Роквеллу это безразмерная величина, единица которой соответствует глубине перемещения индентора на 0,002 мм. Примеры обозначения твердости по Роквеллу: 47HRC, 23HRC, 30HRC, 80HRA, 30HRB.

В обозначении твердости показаны ее значение и режим определения (алмазный конус или шарик; нагрузка: 60,100 или 150 кгс). Для сравнения твердость

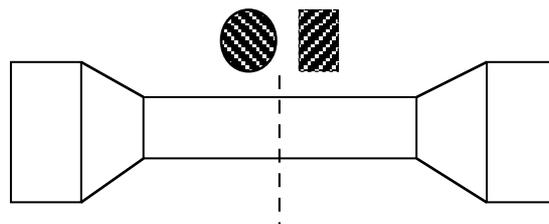


Рис. 1.13. Общий вид образцов (круглого и прямоугольного сечения) для испытания материалов на растяжение.

шейки коленчатого вала дизельного двигателя (47...52HRC ) значительно выше твердости поршневого пальца (30...32HRC).

Испытание образцов (рис. 1.13) на растяжение (рис.1.14) проводится на разрывных машинах при плавно возрастающей растягивающей нагрузке. Образцы изготавливаются круглого или квадратного сечения. Величину силы, действующей в поперечном сечении образца, пересчитывают в значение напряжения, выражаемое в ньютонах (или килограммах) на квадратный миллиметр. При малых нагрузках (соответственно и малых напряжениях) остаточная деформация не возникает и образец после снятия нагрузки принимает начальную длину, т.е. он ведет себя упруго. В области 0...А упругой деформации последняя прямо пропорциональна напряжению, т. е. если напряжение возрастает вдвое, то и упругая деформация возрастает вдвое. Начальный участок диаграммы представляет собой прямую линию. Крутизна этого участка ( отношение напряжения к деформации) является характеристикой металла- модулем упругости Юнга ( модулем E).

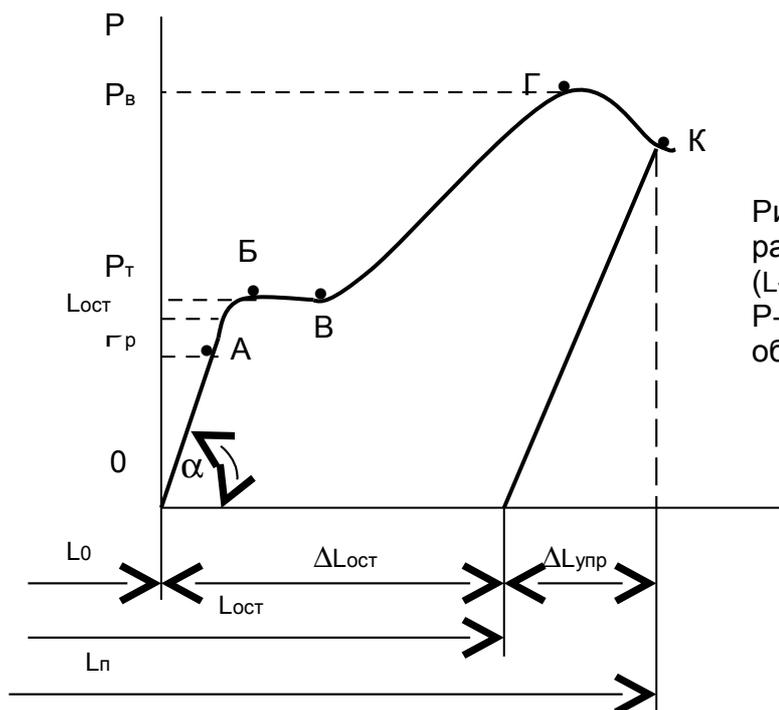


Рис. 1.14. Диаграмма растяжения образца (L-длина образца, P-усилие растяжения образца).

На участке (Б...В) текучести образец удлиняется при неизменной нагрузке P. При снятии нагрузки в этом интервале (Б...В) образец не возвращается к начальной длине, а становится длиннее – в соответствии с той долей, какую составила пластическая деформация от общей. На участке Б...В происходит упрочнение материала и, как следствие этого, после точки В происходит увеличение длины образца с ростом растягивающей нагрузки. Далее нагрузка растет до максимальной P<sub>B</sub>, после которой происходит местное сужение образца,

образуется «шейка». Дальше размер шейки увеличивается, растягивающая нагрузка уменьшается, но и сечение тоже, и в точке К происходит разрыв образца.

Кривая растяжения позволяет определить несколько важнейших характеристик металла. В первую очередь это предел прочности на разрыв (растяжение)  $\sigma_b$ , т.е. максимальное напряжение, которое выдерживает образец без образования шейки, относительное удлинение  $\delta$ .

Условным пределом текучести  $\sigma_{0,2}$  называется напряжение, при котором удлинение образца составляет 0,2 % расчетной длины.

Предел прочности при растяжении определяется из соотношения:

$$\sigma_b = P_b / F_0, \quad \text{кгс / мм}^2,$$

где  $F_0$  - начальная площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>,

$P_b$  — нагрузка предела прочности при растяжении, кгс.

Истинным сопротивлением разрыва  $\sigma_z$  называют напряжение, соответствующее отношению нагрузки в момент разрыва к площади сечения образца в месте разрыва:

$$\sigma_z = P_z / F_k,$$

где  $F_k$  — конечная площадь поперечного сечения образца.

Пластичность — это изменение размеров образца без нарушения сплошности материала.

Относительное удлинение  $\delta$  находится по формуле (в %):

$$\delta = 100 (L_k - L_0) / L_0,$$

где  $L_0, L_k$  — длина образца до и после разрыва.

Относительное сужение  $\psi$  (в %) представляет собой отношение:

$$\psi = 100 (F_0 - F_k) / F_0.$$

Из первоначального участка кривой находится модуль упругости материала  $E$ . По закону Гука

$$\sigma = P / F_0 = E \times \Delta L / L_0.$$

Значения модуля упругости можно определить геометрически как тангенс угла наклона  $\alpha$  начального участка диаграммы растяжения:

$$E = \text{tg}\alpha$$

Во многих случаях нас интересует не просто абсолютные значения прочности, а удельная прочность, т.е. отношение прочности к плотности  $\gamma$  (удельному весу) материала (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Сравнительные характеристики прочности и жесткости различных материалов.

| Материал              | Прочность, $\sigma_v$ ,<br>кгс / мм <sup>2</sup> | Удельная прочность,<br>$\sigma_v/\gamma \times 10^5$ | Удельная<br>жесткость, $(E / \gamma)^{1/3}$ |
|-----------------------|--|--|---|
| Конструкционная сталь | 450...1100                                       | 6...15   | -   |
| Легированная сталь    | 1100...1400                                      | 15...19  | 3,3...3,5                                   |
| Высокопрочная сталь   | 1800...2000                                      | 22...25  | -   |
| Алюминиевый сплав     | 420...600  | 16...21  | 6,8...6,9                                   |
| Титановые сплавы      | 1200...1400                                      | 26...40  | 4,8...5,1                                   |
| Стеклопластики        | > 700  | 38...50  | 7...7,2                                     |

Способность противостоять металлу ударным нагрузкам определяется при испытаниях на удар (рис. 1.15). Для этого изготавливается специальный образец. В середине его делается надрез, необходимый для того, чтобы разрушение происходило в самом слабом месте, т.е. в месте надреза, установленном напротив ударного устройства маятникового копра.

Работа  $A_n$  на разрушение образца определяется как разность потенциальной

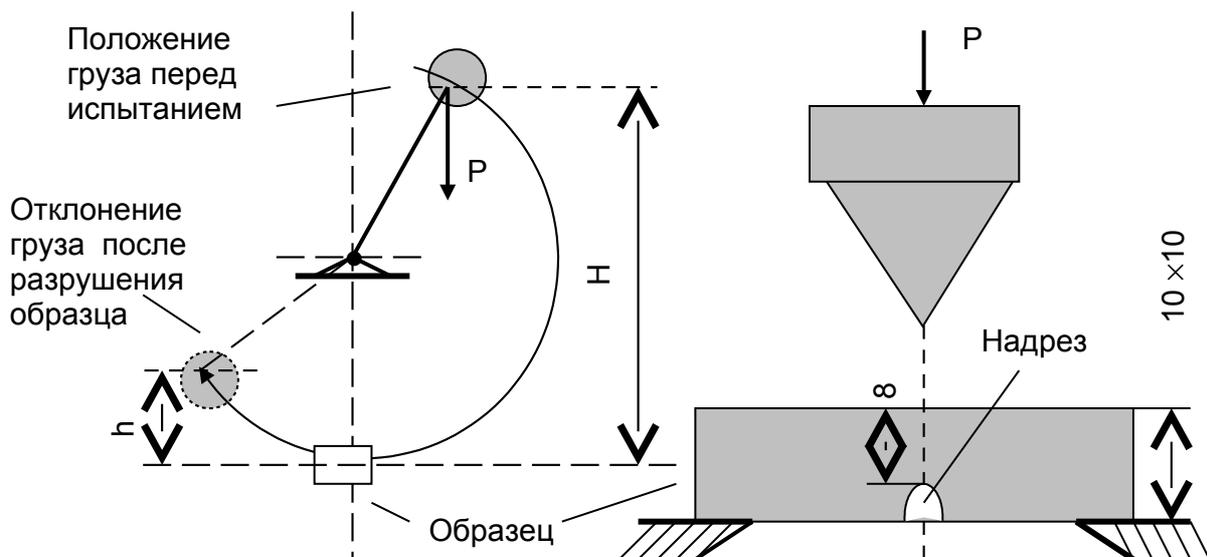


Рис. 1.15. Схема испытания образца на ударную вязкость.

энергии груза перед испытанием ( $P \times H$ ) и оставшейся потенциальной энергией ( $P \times h$ ) после разрушения образца:

$$A_n = P (H - h).$$

Ударная вязкость  $\alpha_n$  представляет собой удельную работу на разрушение единицы площади образца :

$$\alpha_n = A_n / F_0,$$

где  $F_0$  - площадь поперечного сечения образца в месте надреза.

Динамические испытания позволяют выявить склонность металлов к хрупкому разрушению (рис. 1.16). По количеству волокна в изломе (визуально по матовой волокнистой составляющей) оценивают вид излома: вязкий излом (90 % волокон), хрупкий излом (только 10 % волокон) и смешанный излом.

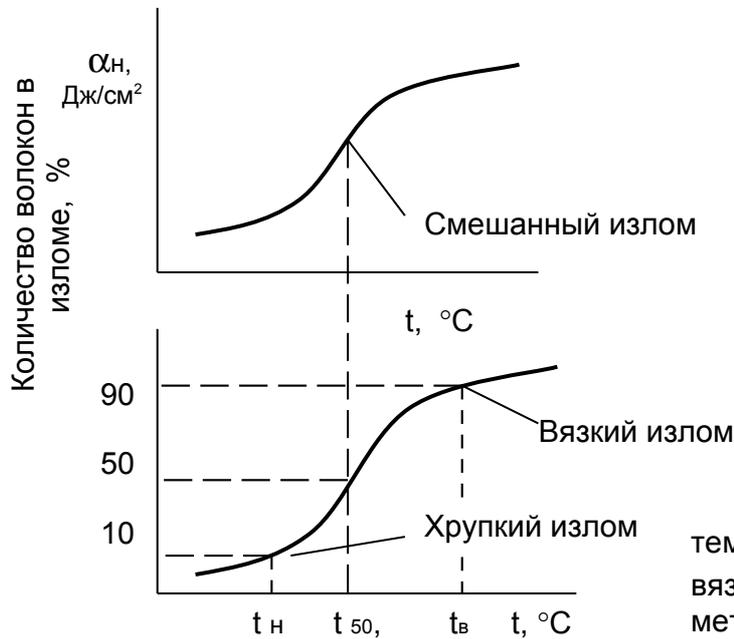


Рис. 1.16. Влияние температуры  $t$  на ударную вязкость  $\alpha_n$  и вид излома металла.

За порог хладноломкости (очень важная характеристика металла, особенно для природно-климатических условий Тюменской области) принимают температуру, при которой имеется около 50% волокна, что примерно соответствует значению  $\frac{1}{2}\alpha_n$ . Для ответственных деталей критической температурой хладноломкости считают температуру, при которой будет 90 % волокон. Значение ударной вязкости  $\alpha_n$  не является постоянной величиной, а сильно зависит от его структуры, условий испытания, наличия концентраторов напряжений и др.

#### Усталостные испытания

В реальных условиях эксплуатации нагрузки на некоторые детали меняются как по величине, так и по направлению, вследствие этого возникают микротрещины в металле, далее они развиваются и при относительно небольших нагрузках происходит разрушение металла (поломка детали). Коленчатые валы, шатуны, шестерни, рессоры, пружины и многие другие детали выходят из строя чаще всего по этим причинам.

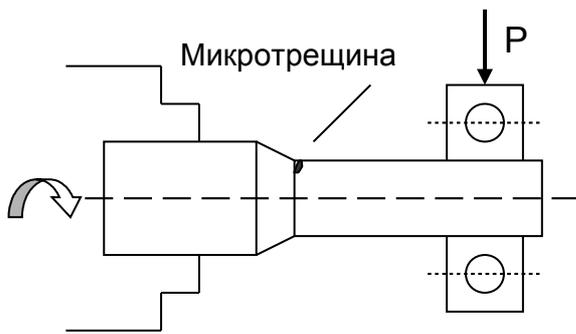


Рис. 1.17. Схема знакопеременного нагружения и образования микротрещины в галтели вала.

На рис. 1.17 показан консольный вал, при вращении которого на участках галтели нагрузка за один оборот будет изменяться от максимальной до нуля. В результате многократно повторяющихся циклов нагружения в самом опасном месте (галтели) сначала образуются отдельные микротрещины, далее они увеличиваются по размеру и сливаются друг с другом, образуя большего размера трещины, и при

относительно небольших нагрузках ( по сравнению с начальными условиями работы) происходит разрушение вала по галтели.

На рис.1.18. показана кривая усталости. При испытаниях определяют число циклов нагружения до разрушения образца металла при различных напряжениях. Напряжение  $\sigma_{-1}$  называется пределом усталости, т.е. это значение такого напряжения при котором нет усталостного разрушения. Обычно испытания не проводят до появления

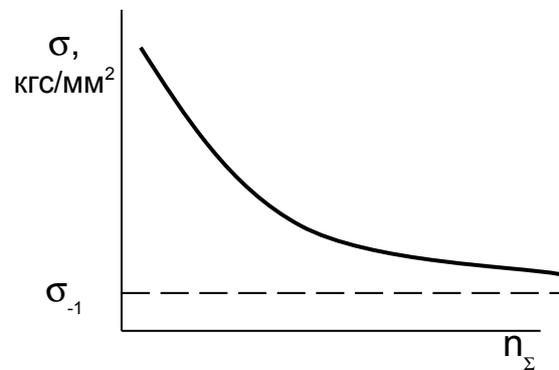


Рис. 1. 18. Усталостная кривая.

этого горизонтального участка, а завершают для стальных образцов при  $5 \times 10^6$  циклов и для образцов из цветных сплавов при большем ( $20 \times 10^6$ ) числе циклов.

Пределом усталости в этом случае называют предельное напряжение при котором образец не разрушается при этом установленном количестве циклов.

Исследование структуры металлов проводят несколькими способами. Рентгеноструктурным методом исследуют внутреннее строение кристаллической решетки (фазовый состав, величину зерен и т. д). При просвечивании ультразвуком или рентгеновскими лучами определяют качество литья и сварки по наличию трещин, шлаковых включений и раковин.

Макроструктура металла (величина зерен, направление волокон в деформированных слоях металла, наличие усадочных и газовых трещин, характер излома детали) определяется невооруженным глазом или при увеличении (лупа, микроскоп) до 30 раз. Поверхность сначала шлифуют наждачной бумагой, а потом проводят глубокое травление химическими растворами .

При микроскопическом исследовании используют микроскопы с увеличением в 50 ...2000 раз. Шлифы металла готовятся в виде цилиндриков (диаметром и высотой по 10... 15 мм), или в виде кубиков 10×10 мм. Металл шлифуют, полируют и травят в слабых растворах кислот. На поверхности металла из-за неодинаковой травимости структурных составляющих, зерен и их границ появляется микрорельеф. Создается сочетание света и тени. Более протравленная структура будет более темной в микроскопе по сравнению с менее протравленной.

Технологические испытания - это простейшие виды испытания материалов на пластичность и разрушение, на возможностьковки, гибки, сварки и др.

Так, испытанием на выдавливание определяется способность листового материала подвергаться холодной штамповке. Пуансоном ( шариком ) выдавливаются лунки до появления первой трещины. Глубина лунки до разрушения характеризует пластичность материала.

Испытанием на изгиб листового материала в холодном и горячем состоянии определяется его способность принимать заданную форму. Испытанием на изгиб оценивается качество сварных швов. Характеристикой прочности является угол прогиба до разрушения сварного шва. Проба на двойной кровельный замок. проводится для листового металла толщиной менее 0,8 мм. Оценивается угол загиба, число загибов и разгибов.

Пробой на перегиб ( повторный загиб и разгиб ) оценивается качество проволоки. Пробы на изгиб и расплющивание проводятся для труб диаметром менее 115 мм; отверстие засыпается сухим песком, далее труба гнется на 90 градусов вокруг оправки.

Испытанием на осадку в холодном состоянии проверяются материалы для изготовления болтов и заклеп.

Проба навиванием проволоки на оправку проводится для определения возможности получения заданного числа витков.

### 1.3. Производство чугуна и стали.

Металлы и сплавы по химическому составу делятся на цветные (медь, алюминий, свинец, бронза, латунь и др.) и черные (железо, сталь, чугун). В чистом виде металлы используются редко, а в основном - в виде сплавов.

*Чугун и сталь это сплавы железа с углеродом*, в которых неизбежно наличие примесей других химических элементов:

*Сталь:  $Fe + C (< 2\%) +$  примеси (относительно немного);*

*Чугун:  $Fe + C (> 2\%) +$  примеси (больше, чем у стали).*

Что общего и в чем различия ( табл. 1.3) между этими сплавами?

Основа одна — железо. Главное отличие заключается в том, что чугун имеет повышенное содержание углерода (свыше 2 % в чугунах и до 2 % в сталях) *Граница* между этими сплавами проходит по содержанию углерода в сплаве. Так же больше во многих чугунах марганца, серы, фосфора и кремния.

Стали чаще всего более твердые, прочные и износостойкие. Чугуны же более хрупкие, но обладают хорошими литейными свойствами.

Сталь является производной от чугуна., т.к. производство её в основном двух стадийное : из железных руд сначала получают чугун, далее из чугуна и стального лома получают сталь.

Таблица 1.3

## Сравнительные показатели чугунов и сталей.

| №  | Наименование показателей | Чугун                 | Сталь                |
|----|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1  | Содержание углерода, %   | > 2 %                 | < 2 %                |
| 2  | Содержание S, P, Mn, Si  | Много *               | меньше               |
| 3  | Структура                | ледобурит,....        | аустенит, феррит,... |
| 4  | Хрупкость                | более хрупкий *       |                      |
| 5  | Твердость                |                       | более твердая *      |
| 6  | Прочность                |                       | выше *               |
| 7  | Ковкость                 |                       | выше *               |
| 8  | Литейные свойства        | выше                  |                      |
| 9  | Изготавливаемые детали   | станины, корпуса,     | валы, шестерни,...   |
| 10 | Технология изготовления  | литье и механ. обраб. | прокатка и мех. обр. |

\* - чаще всего.

Железо в руде находится в виде окислов, оксидов, карбонатов и прочих химических соединений. Кроме того, в руде много ( до 30... 60 % ) пустой породы : кварцит ( песок ), глинистые вещества и др.

Основные железные руды :

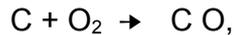
1. Магнитный железняк  $FeO$  — оксид ( до 65 % железа ). ( Соколовское и Сарбайское месторождения, Курская магнитная аномалия )
2. Красный железняк  $FeO$  — оксид ( до 60 % железа ). ( Криворожское месторождение, Курская магнитная аномалия )
3. Бурый железняк  $nFeO \cdot mH_2O$  — карбонат ( до 55 % железа ). ( Лисаковское месторождение )
4. Шпатовый железняк  $FeCO_3$  — углекислая соль ( до 40 % железа ). ( Криворожское месторождение )

Почти половина разведанных мировых запасов железа находится на территории государств СНГ. Добывалось и производилось чугуна и стали в бывшем СССР больше всех в мире. Причинами этого «достижения» были: несовершенство конструкций и низкая надежность машин и оборудования; низкое качество выплавляемых чугунов и сталей; огромные территории; большая протяженность дорог и коммуникаций; низкая эффективность сельскохозяйственного производства, строительных и дорожных работ. Всё это требовало намного больше металла, чем в других странах. И, кроме того, зарытого металла в земле на стройках, брошенного на свалках, в лесах, болотах и на полях было больше всех в мире.

В историческом плане производство черных металлов развивалось по следующим этапам :

1. Сыродутный процесс ( 1500 лет до н. э. ). Производительность процесса очень низкая, получали за 1 час всего до 0,5... 0,6 кг железа. В кузнечных горнах железо восстанавливалось из руды углём при продувке воздухом (рис. 1.19 ) с помощью кузнечных мехов.

Сначала при горении древесного угля образовывалась окись углерода



которая и восстанавливала чистое железо из руды



В результате длительной продувки воздухом из кусочков руды получались практически без примесей кусочки чистого железа, которые сваривались между собой кузнечным способом в полосу, которые далее использовались для производства необходимых человеку изделий. Это технически чистое железо содержало очень мало углерода и мало примесей (чистый древесный уголь и хорошая руда), поэтому оно хорошо ковалось и сваривалось и практически не корродировало. Процесс шел при относительно невысокой температуре (до 1100...1350 °С), металл не плавился, т. е. восстановление металла шло в *твердой* фазе. В результате получалось ковкое (кричное) железо. Просуществовал этот способ до XIV века, а в несколько усовершенствованном виде до начала XX века, но был постепенно вытеснен кричным переделом.

Отсюда следует, что исторически *самым первым сварщиком металлов был кузнец, а самый первый способ сварки- это кузнечная сварка.*

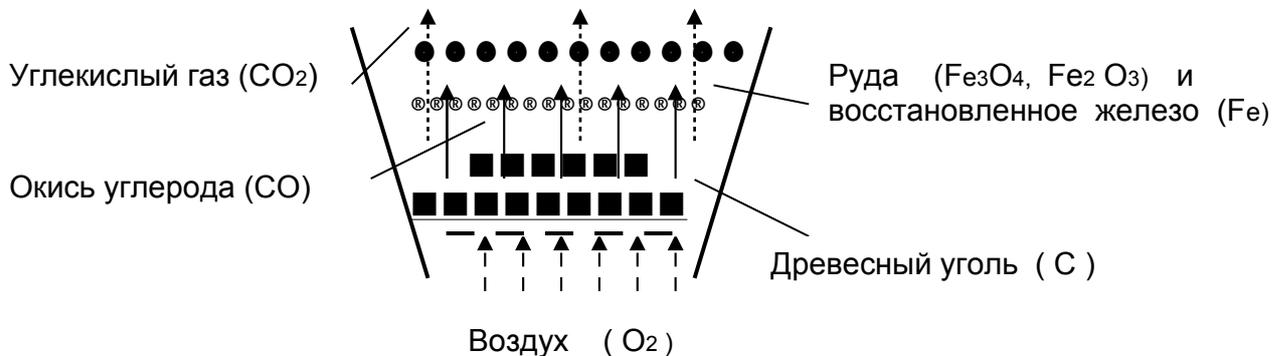


Рис. 1.19. Схема восстановления железа из руды при сыродутном процессе.

2. С увеличением размеров сыродутных горнов и интенсификацией процесса возрастало содержание углерода в железе, температура плавления этого сплава (чугуна) оказывалась ниже, чем у более чистого железа и получалась часть металла в виде расплавленного чугуна, который как отход производства вытекал из горна вместе со шлаком.

В XIV век в Европе был разработан двухступенчатый способ получения железа (маленькая домна, далее кричного процесс). Производительность увеличилась до 40 ...50 кг/час железа. Использовалось водяное колесо для подачи воздуха. Кричный передел -это процесс рафинирования чугуна (снижение количества C, Si, Mn) с целью получения из чугуна кричного (сварочного) железа.

3.В конце XVIII века в Европе начали использовать минеральное топливо в доменном процессе и в пудлинговом процессе. При пудлинговом процессе каменный уголь сгорает в топке, газ проходит через ванну, расплавляет и очищает металл. В Китае даже раньше, в X-ом веке, выплавляли чугун, а далее получали сталь процессом пудлингования. Пудлингование - это очистка чугуна в пламенной печи. При очистке железные зерна собираются в комья. Пудлинговщик ломом много раз переворачивает массу и делит ее на 3...5 частей – криц. В кузнице или прокатной машине свариваются зерна и получают полосы и другие заготовки. Используются уже паровые машины вместо водяного колеса. Производительность возрастает до 140 кг сварочного железа в час.

4.В конце XIX века — почти одновременно внедряются три новых процесса получения стали: бессемеровский, мартеновский и томасовский. Производительность плавки стали возрастает резко ( до 6 тн/час).

5. В середине XX века: внедряются кислородное дутье, автоматизация процесса и непрерывная разливка стали.

При сыродутном, кричном и пудлинговом процессах железо не плавилось (технический уровень того времени не давал возможность обеспечить температуру его плавления). Продувка кислородом расплавленного металла в бессемеровском конвертере из-за резкого увеличения поверхности соприкосновения металла с окислителем (кислородом) в тысячу раз ускоряет химические реакции по сравнению с пудлинговой печью.

В сыродутном и кричном процессах получали одностадийным методом ковкое, сварочное железо (малоуглеродистую сталь), причём имеющее небольшое количество примесей, поэтому весьма стойкое к коррозии. Сейчас в стадии развития находится одностадийный процесс производства стали: обогащение руд (получение окатышей, содержащих 90... 95 % железа) и выплавка стали в электропечи.

Современное производство чугуна и сталей выполняется по следующей схеме (рис. 1.20).

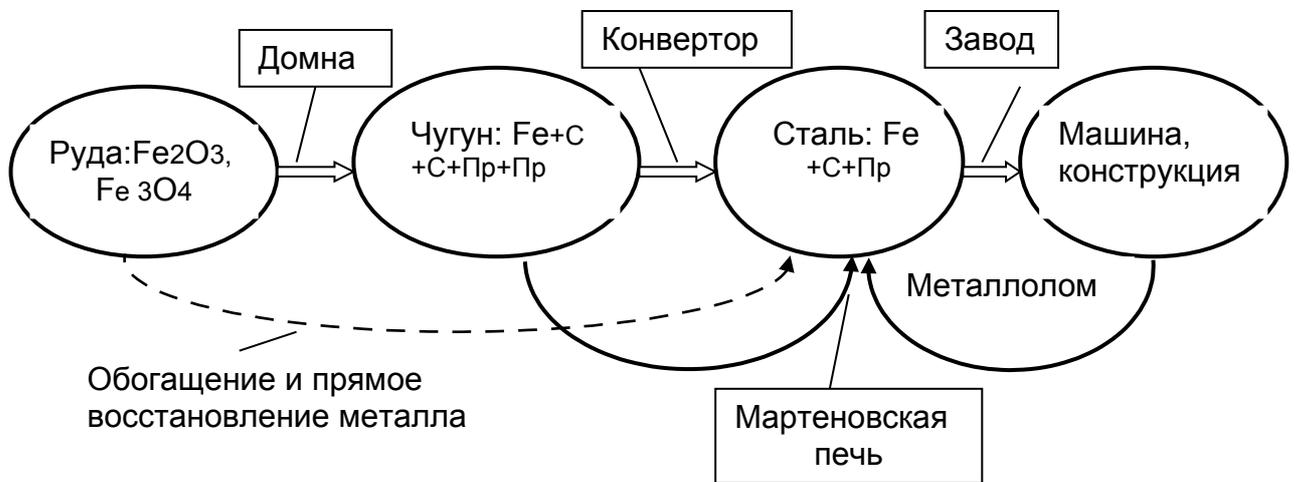


Рис.1.20. Принципиальная схема получения чугуна и стали.

#### Производство чугуна.

Чугун выплавляется в домнах. Это сложное инженерное сооружение, работающее непрерывно в течение 5..10 лет.

Печь работает по принципу противотока. Сверху загружается руда, флюсы и кокс, а снизу подается воздух.. Кокс служит для нагревания и расплавления руды, а также участвует в восстановлении железа из окислов руды. В коксе должно быть минимум серы и фосфора. Флюсы (известняки, кремнеземы,..) необходимы для получения шлаков. При сгорании топлива образуется окись углерода, которая и является главным восстановителем железа. Восстановление железа происходит от высших окислов к низшим и, в конечном итоге, к металлу:



окисью углерода CO и твердым углеродом C. Восстановление марганца, кремния и других элементов выполняется также коксом.

Продуктами доменного производства являются :  
 чугуны передельный, содержащий 4...4,5 % С, 0,6...0,8 % Si, 0,25...1,0 % Mn, до 0,3 % S и до 0,05 % P;  
 чугуны литейные, содержащие Si около 3 % ;  
 ферросплавы: ферросилиций ( 9 ...13 % Si ) и ферромарганец ( 70 ...75 % Mn ),  
 предназначенные для раскисления и легирования сталей;  
 шлаки, используемые для производства шлаковаты, шлакоблоков, цемента.

#### Производство стали.

Чтобы получить сталь из чугуна надо уменьшить в нем количество углерода, марганца, серы и фосфора. Сталь получают в кислородных конверторах, мартеновских печах и электропечах.

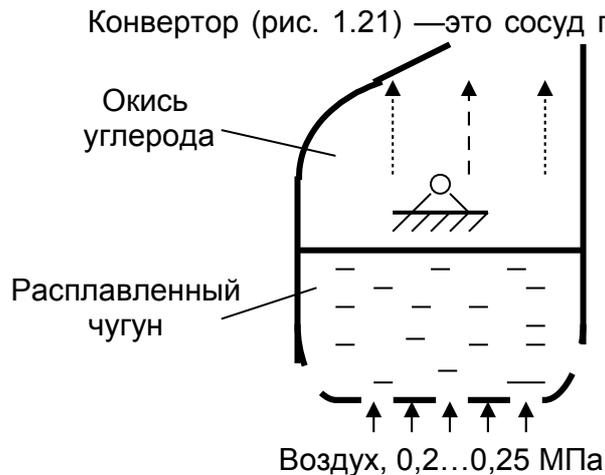
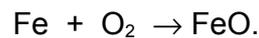
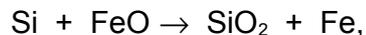


Рис. 1.21. Схема производства стали в конверторе.

В первые 4 ...5 минут процесса окисляется железо



Далее, образовавшаяся окись железа окисляет кремний и марганец :



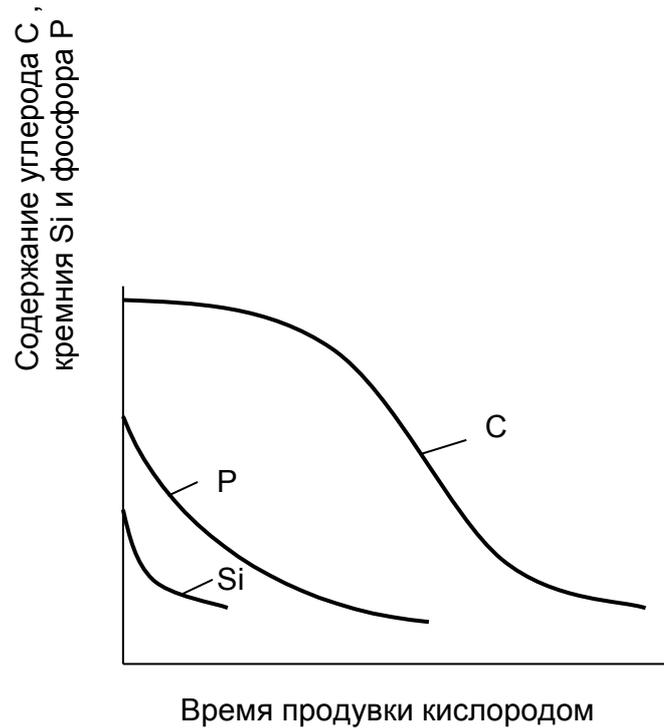
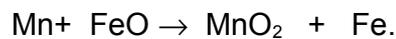
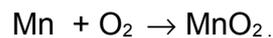
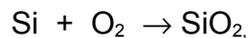


Рис.1.22. Изменение содержания углерода C, кремния Si и фосфора P в конверторе по времени.

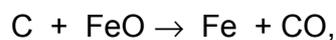


Кремний и марганец окисляются также и кислородом:

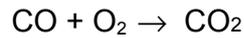


При окислении углерода, кремния, марганца и др. примесей выделяется большое количество тепла, температура расплава увеличивается, а окислы образуют шлак.

После того, как выгорят почти полностью Si и Mn наступает второй период бурного выгорания углерода



характерный тем, что пока окись углерода горит



над горловиной. будет яркое пламя.

Третий период наступает, когда над горловиной появляется бурый дым-признак того, что начало окисляться железо и процесс получения стали завершен.

Кислород вдувается в конвертор сверху (давление до 1,2 МПа) на зеркало жидкого металла.. Температура при продувке кислородом выше, чем при продувке воздухом, поэтому кроме расплавленного чугуна можно использовать до 30 % железного скрапа и железной руды. При продувке кислородом в сплаве уменьшается содержание азота, время продувки сокращается по сравнению с продувкой воздухом в 2 раза и увеличивается производительность конвертора.

Мартеновское производство менее производительное, чем конверторное., но лучше регулируется процесс, используются чугунные чушки и металлолом. Мартен это регенеративная пламенная печь. Газ сгорает над плавильным пространством, где создается температура 1750... 1800 °С. Газ и воздух предварительно подогреваются ( до 1200...1250 °С) в регенераторах. За счет тепла сгоревших газов, выходящих в трубу. Два регенератора : один работает, а другой накапливает тепловую энергию. Для интенсификации процесса ванну продувают кислородом. Раскисление ванны проводят ферросилицием и ферромарганцем в ванне, а окончательное – алюминием и ферросилицием в сталеразливочном ковше.

Сталь высокого качества выплавляют в дуговых и индукционных электропечах. Процесс примерно такой же как и в мартеновской печи, но температура выше , поэтому можно получать в электропечах тугоплавкую сталь, содержащую хром, вольфрам и др. Два периода при выплавке электростали: окислительный (выгорают Si, Mn, C, Fe) за счет кислорода, воздуха и оксидов шихты; восстановительный — раскисление стали, удаление серы. Для этого вводят флюс, состоящий из извести и плавикового шпата.

Индукционная плавка применяется обычно для переплавки сталей и получения высоколегированных и специальных сталей в условиях вакуума или специальной регулируемой атмосферы.

### 1.4. Разливка стали.

Из печи сталь выпускают в сталеразливочный ковш (5 ...250 тн). В основном применяются два традиционных способа разливки (рис.1.23) в изложницы (чугунные формы) : сверху и сифонная снизу. Сверху — это для крупных слитков, снизу — для мелких.

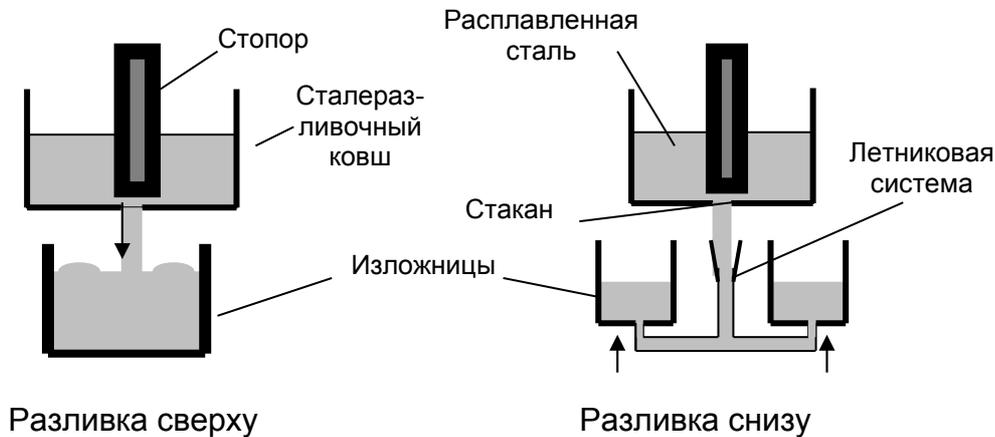


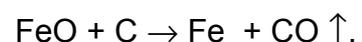
Рис. 1.23. Разливка металла сверху и снизу.

Очень эффективна непрерывная разливка стали (рис. 1.24). Расплавленная сталь через регулируемый стакан непрерывно поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор. Дальнейшее охлаждение проводится струями воды, после этого выполняется прокатка слитка валками. С помощью кислородного резака отрезается необходимой длины слиток. Слитки изготавливаются прямоугольного (150×500, 300×200,...), квадратного (150×150, 400×400,...) или круглого сечения. В слитке непрерывной разливки нет усадочной раковины и более равномерная структура металла.



Рис. 1. 24. Схема непрерывной разливки.

Стали делятся на : кипящие, спокойные и полуспокойные. Кипящая сталь не полностью раскислена в печи и раскисляется в изложнице. При разливке кипящих сталей выделяется окись углерода  $\text{CO}$  , поэтому создается внешнее впечатление, что сталь как бы «кипит» в изложнице



Окись углерода  $\text{CO}$  при выходе из стали способствует удалению  $\text{N}$ ,  $\text{H}$  и поэтому создается впечатление «кипящей»

стали. В стали при затвердении слитка образуется не усадочная раковина, а большое количество газовых пузырей, устраняемых прокаткой.

Спокойные стали получают при полном раскислении в печи. В верхней части слитка при разливе спокойной стали будет усадочная раковина, а у кипящих сталей ее нет.

Полуспокойная сталь получается при недостаточном оличестве ферросилиция или алюминия.

Качество выплавляемой стали определяется:

1. Качеством исходных материалов (чугуна, шлаков, металлолома) .
2. Совершенством технологического процесса плавки .
3. Технологической дисциплиной плавки.
4. Технологией разливки.

При разливке может проводиться вакуумная обработка в ковше или электропечи в течение 10...15 минут. Газы всплывают на поверхность металла, захватывая неметаллические шлаковые и другие включения, поэтому металл имеет высокую чистоту и, соответственно, высокое качество.

Для повышения качества металла применяются следующие виды переплава: электрошлаковый, вакуумно-дуговой, плазменно-дуговой и электронно-лучевой.

### **1.5. Диаграмма состояния системы железо - углерод.**

Металлические сплавы — это сложные по составу вещества на основе металлов, сохраняющие их основные свойства: высокую электро - и теплопроводность, литейные свойства, ковкость и др. Сплав может быть в жидком и твердом состоянии. В жидком состоянии существует только одна жидкая фаза, а в твердом у сплавов может быть несколько фаз в виде твердых растворов, химических соединений и механических смесей.

Твердые растворы состоят из двух и более компонентов, в которых атомы растворимого компонента располагаются в кристаллической решетке основного компонента, замещая его атомы, либо внедряясь в кристаллическую решетку.

Химические соединения могут быть в виде металлов с неметаллами ( $Fe_3C$ ) или металлов с металлами ( $CuAl_2$ ,  $CuNi$ ). Они обладают конкретными физико - механическими свойствами. Например, цементит ( $Fe_3C$ ) имеет высокую твердость, повышенную хрупкость и низкую электропроводность.

Механические смеси состоят из нескольких компонентов, которые при затвердевании (кристаллизации) не взаимодействуют друг с другом. Каждая из фаз сохраняет свою кристаллическую решетку. Например, у сталей могут одновременно быть смеси феррита и аустенита, или перлита и цементита.

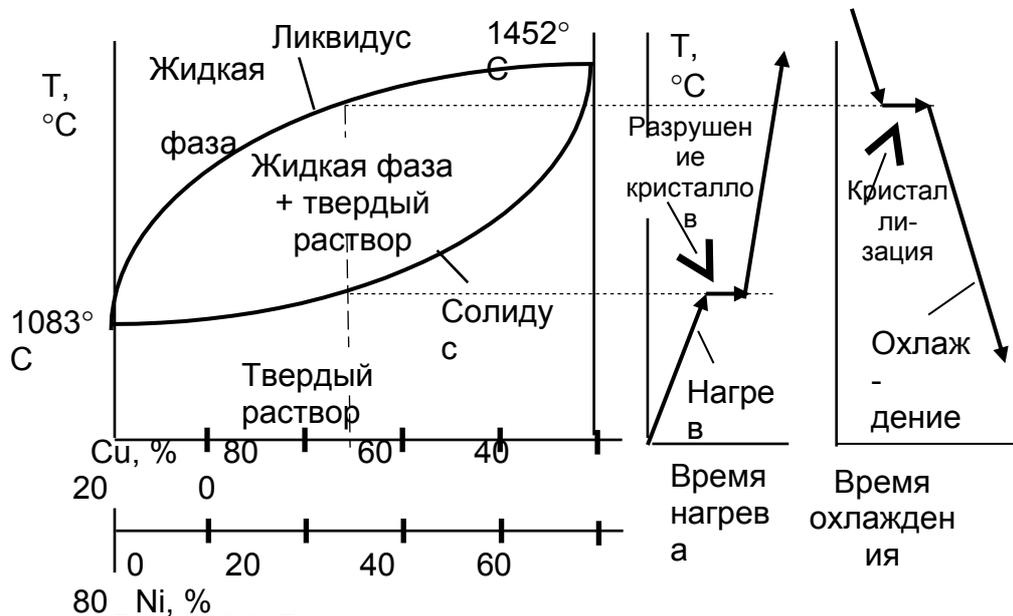


Рис. 1. 25. Диаграмма состояний сплава медь-никель и кривые нагрева и охлаждения сплава, содержащего по 50 % никеля и меди.

Диаграммы состояния строятся на основе кривых нагрева и охлаждения. Рассмотрим сплав (рис. 1.25) медь- никель (Cu — Ni). Атомы Cu и Ni могут соединяться в любых пропорциях (0...100%), образуя твердый раствор, при этом атомы Ni могут замещать в кристаллической решетке Cu все атомы. По горизонтальной оси откладывается содержание компонентов в твердом растворе, а по вертикальной- температура. Точка 1083 °C показывает температуру плавления меди, а точка 1452 °C – никеля. Нижняя линия (солидус) – это граница твердого раствора. Ниже ее оба металла и смесь находятся в твердом состоянии ( в кристаллическом виде). Выше верхней линии (ликвидуса) располагается область жидкого раствора обоих этих металлов и сплавов. В «чечевице», очерченной нижней и верхней линиями, лежит область смеси кристаллов и более тугоплавкового металла с капельками более легкоплавкого.

В правой части рисунка 1.25 находятся кривые нагрева и охлаждения смеси ( в данном случае представлена 50 % смесь) этих металлов. На основании таких кривых, полученных для различных смесей в интервале 0...100% и построена диаграмма состояний. На кривых нагрева и охлаждения видны горизонтальные линии: при разрушении кристаллов тепло подводится, но повышения температуры нет, т.к. это тепло расходуется на разрушение кристаллов; при кристаллизации, наоборот, выделяется тепло, поэтому температура сплава по времени не снижается.

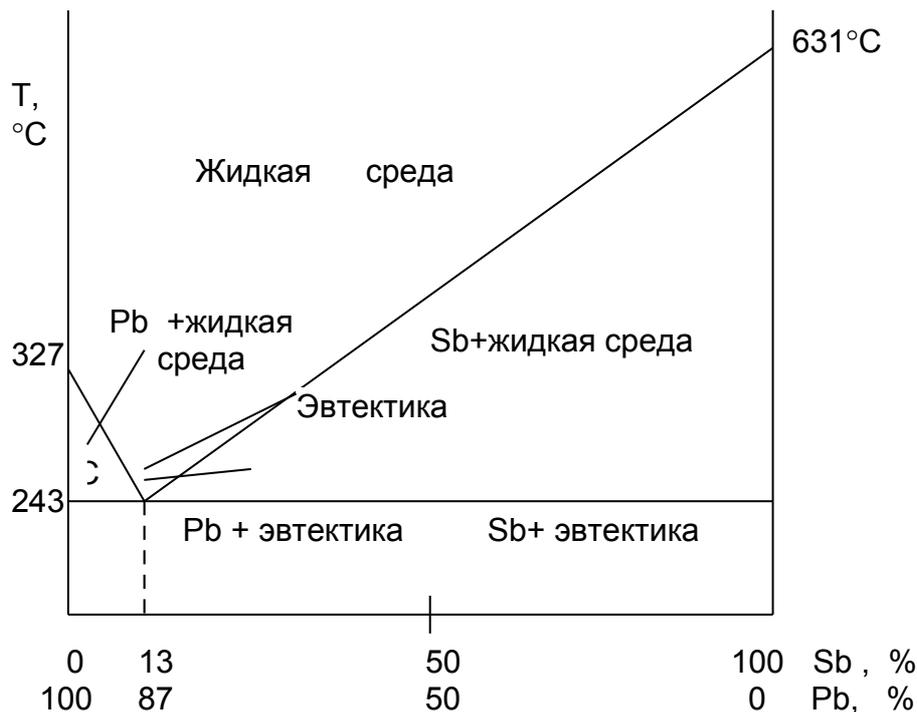


Рис. 1.26. Диаграмма состояний сплава Sb –Pb.

Для компонентов (пример для смеси свинец –сурьма), неограниченно растворимых в жидком состоянии и совершенно нерастворимых в твердом состоянии, с образованием механической смеси (эвтектики), диаграмма представлена на рис. 1.26.

На первом участке диаграммы ниже линии температур 327...243 °C кристаллизуется свинец, а далее на участке температур 243...631 °C — сурьма. В точке С кристаллизуется свинец и сурьма, и жидкость без промежуточных фаз переходит в твердое состояние. Эта смесь называется *эвтектикой*. До нее будет доэвтектический сплав (Pb + Э), а после заэвтектический сплав (Sb + Э). В точке С самая низкая температура плавления ( 243 °C ) сплава.

Имеется связь характера диаграмм состояний со свойствами (электропроводность, твердость, прочность и т. д.). Так для первой группы сплавов –

твердых растворов, с ростом концентрации компонента (например, Ni на рис. 1.25) механические свойства (твердость, прочность) увеличиваются, а для второй группы (рис. 1.26) имеется точка экстремума, т. е. сначала механические характеристики повышаются, а далее снижаются.

Структурные составляющие железо - углеродистых сплавов представлены в виде твердых растворов (рис. 1.27) (феррит и аустенит), химического соединения (цементит) и механических смесей (перлит, ледобурит,...).

Феррит это твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо. Он очень

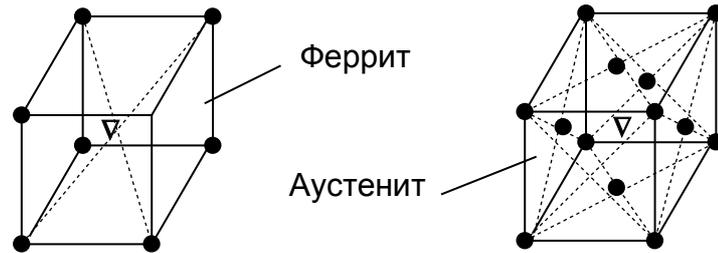


Рис. 1.27. Кристаллическая решетка феррита и аустенита.  
Обозначения: ● -атомы железа; ▽ -атомы углерода.

мягкий и пластичный, хорошо проводит тепло и электричество, сильно магнитен. Углерода в нем очень мало (около 0,002 %). В микроструктурах металла цементит имеет белый цвет. Углерод замещает центральный атом объемно - центрированной кубической решетки ( $\alpha$  — железо) или вакансии кристаллической решетки.

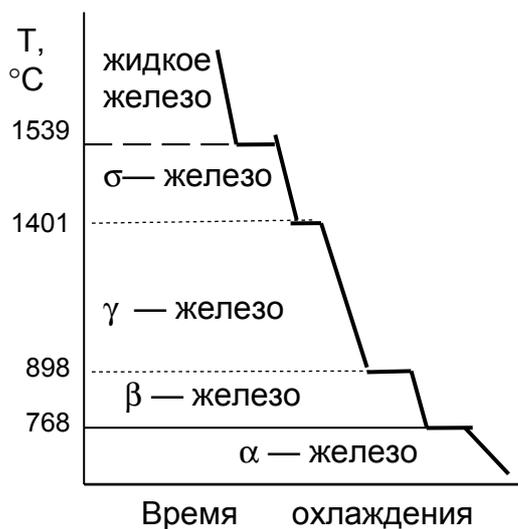


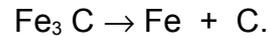
Рис. 1.28. Кривая охлаждения железа .

Фазовые превращения (рис. 1.28) происходят по мере изменения температуры. При нагреве до 768 °С  $\alpha$  — железо теряет свои магнитные свойства, но кристаллическая решетка не меняется.

При 898 °С — эта решетка превращается в гранецентрированную кубическую решетку, называемую  $\gamma$  — железом. Аустенит это твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$  — железо. Он не магнитен, сравнительно мягкий, углерода содержится в нем максимально до 2 %.

При 1401 °С  $\gamma$  — железо превращается в  $\sigma$  — железо с объемно — центрированной решеткой, существующей до температуры плавления железа (1539 °С).

Цементит — это химическое соединение (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ), содержащее 6,67 % углерода и имеющее высокую твердость и хрупкость, плохо проводящее электрический ток и тепло. Цементная сетка является светлой на микроструктурах сплава. Цементит является неустойчивым химическим соединением и при высоких температурах происходит его распад на железо и углерод:



Ледебурит—это механическая смесь (эвтектика), состоящая из аустенита и цементита и содержащая 4,3 % углерода, образуется при температурах ниже 1147 °С, имеет высокую твердость и хрупкость.

Перлит – механическая смесь (эвтектоид), состоящая из тонких пластинок или зерен цементита и феррита, образуется в результате распада аустенита при температурах ниже 727 °С. Углерода в перлите 0,8 %.

На основе кривых (рис. 1.28) охлаждения и нагрева сплавов Fe-C строится диаграмма состояний (рис.1.29) системы железо-углерод. На ней имеются линии: ликвидуса –АСД ; солидуса - АЕCF. Выше линии ликвидуса металл находится в жидком состоянии, а ниже линии солидуса - в твердом (кристаллическом) состоянии. Остальные линии отражают превращения в сплавах, происходящие после затвердевания. Ниже линии солидуса, при дальнейшем снижении температуры происходят структурные изменения, т.е. перекристаллизация уже в твердом состоянии (вторичная кристаллизация).

В точке S аустенит распадается на твердую однородную смесь кристаллов

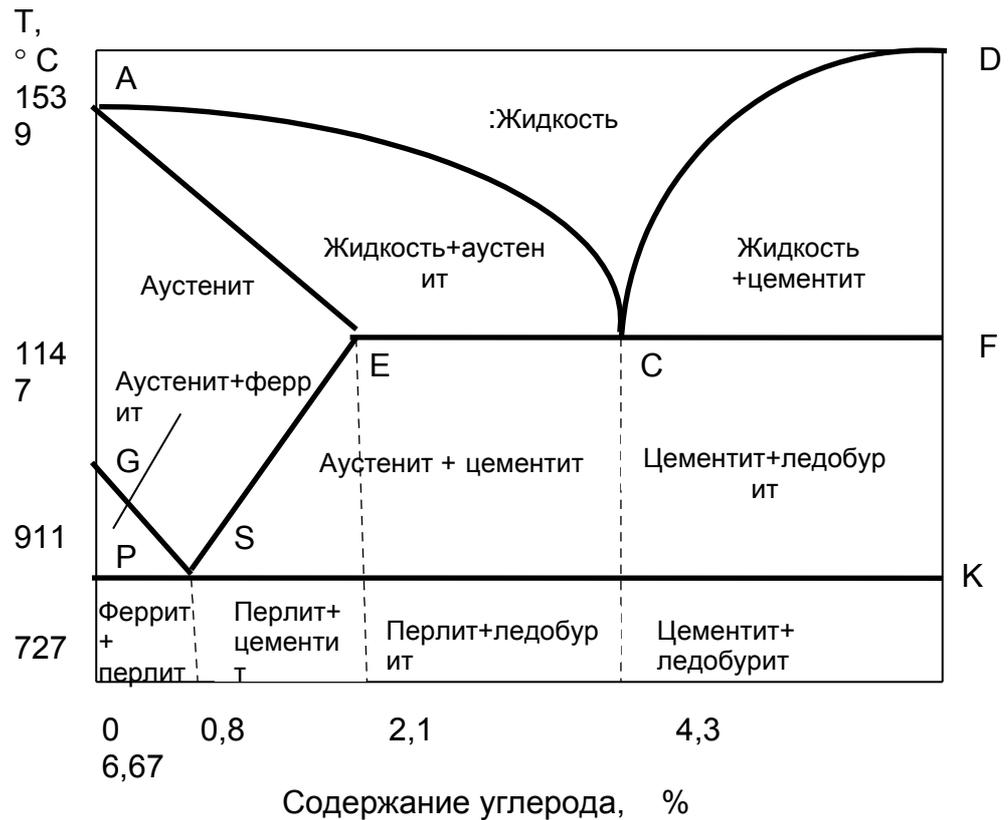


Рис. 1.29. Упрощенная диаграмма состояний системы железо-углерод.

феррита и цемента — перлит. Сплав в точке S — эвтектоидный, при содержании углерода меньше 0,8% доэвтектоидный, а более 0,8% — заэвтектоидный. После 0,8% происходит распад аустенита с выпадением из него вторичного цементита.

Точка A — это температура плавления чистого железа Fe, а точка D — температура плавления цементита  $Fe_3C$ . Точка E (2,14 % C) делит сплав на две группы: стали и чугуны. *Левее точки E будут стали, а правее — чугуны.*

Температура плавления стали с увеличением количества углерода C в ней снижается, а чугунов после 4,3 % — увеличивается.

Сразу после затвердевания структура сталей состоит из аустенита, а чугунов из смесей: аустенит + ледебурит; цементит + ледебурит.

При охлаждении доэвтектоидных сталей ( $C < 0,8\%$ , т.е. левее точки S) аустенит распадается, из него выделяется феррит.

В эвтектоидной точке C будет механическая смесь кристаллов аустенита и цементита — ледебурит. Правее точки C выделяется цементит. Сплавы чугунов левее точки C — доэвтектоидные, правее — заэвтектоидные.

Белые чугуны (белый оттенок на изломе). состоят из ледебурита и цементита. Они твердые, хрупкие, трудно механически обрабатываются. Используются для передела в сталь.

Если углерод в сплаве находится в свободном состоянии, т.е. в виде графита, то это серые чугуны.

Диаграмма железо — углерод имеет *большое практическое значение* для инженеров. По ней можно определить температуру плавления и затвердевания сталей и чугунов, интервалы температур при обработке сталей давлением (ковка, штамповка,...) и термической обработке (закалка, отпуск,...), т.е. она нужна металлургу, кузнецу и термисту.

### 1. 6 .Влияние химических элементов на свойства стали и чугуна.

*Стали.* С увеличением содержания углерода (рис.1.30) повышаются твердость и прочность, снижается пластичность, улучшается обработка резанием, повышается закаливаемость, но ухудшается свариваемость стали. Твердость и прочность тем выше, чем выше дисперсность (более мелкие кристаллы) феррита и

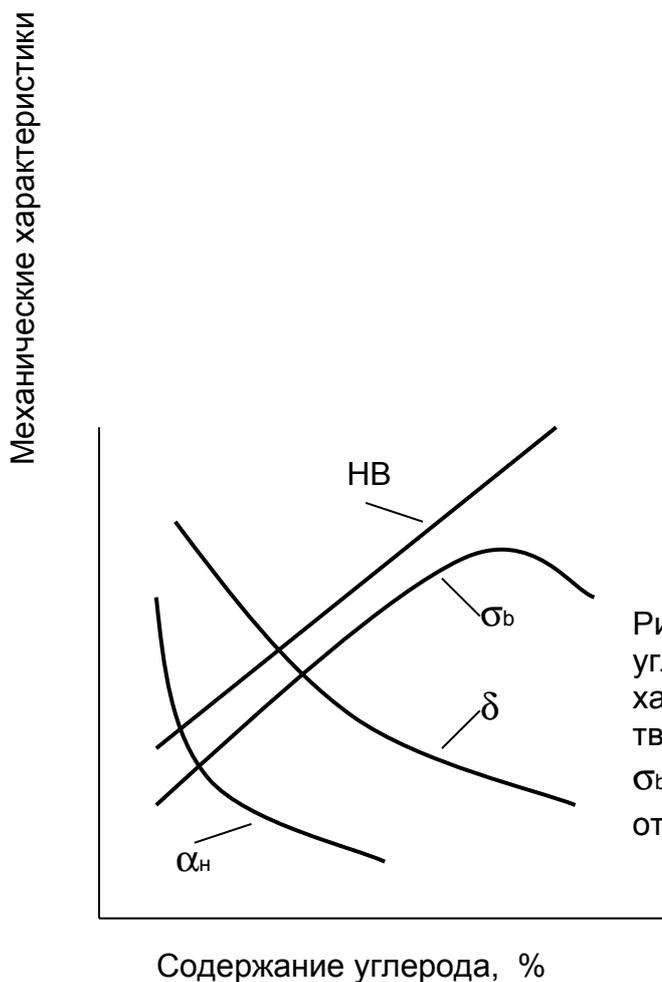


Рис. 1.30. Влияние содержания углерода на механические характеристики сталей: твердость НВ и прочность  $\sigma_b$ , ударную вязкость  $\alpha_n$  и относительное удлинение  $\delta$ .

цементита.

Вредными примесями для стали являются S, P, O, H, N. Сера S ухудшает пластичность и вязкость; сталь становится хрупкой при высоких температурах (красноломкость), поэтому серы должно быть в сталях мене 0,03%. При наличии серы в сплаве по краям зерен создается эвтектика FeS, которая при температурах выше 985 °С плавится, поэтому по границам зерен образуются трещины и металл разрушается .

Наличие фосфора P в стали приводит к хладноломкости ( возникают трещины уже при комнатной температуре и, особенно, интенсивно при отрицательных температурах), ухудшается пластичность и вязкость сплава. В высококачественных сталях должно быть фосфора менее 0,03% .

Марганец Mn раскисляет сталь и нейтрализует вредное влияние серы S, повышает прочность и износостойкость стали.

Кремний Si повышает упругость и прочность стали, увеличивает предел текучести , что снижает возможности холодной штамповки и высадки металла.

*Чугуны.* Микроструктура чугунов (табл. 14) зависит от скорости охлаждения металла: при быстром охлаждении будет белый чугун ( углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита и ледебурита ), а при медленном охлаждении будет серый чугун ( углерод находится в виде графита ).

Таблица 1.4

## Марки и механические характеристики чугунов.

| Группы чугунов | Марки чугунов | $\sigma_b$ , МПа | НВ         | $\delta$ , % |
|----------------|---------------|------------------|------------|--------------|
| Серые          | СЧ 10         | 100              | 120...150  |              |
|                | СЧ 15         | 150              | 130...241  |              |
|                | .....         | .....            | .....      |              |
| Высокопрочные  | СЧ 35         | 350              | 179...290  |              |
|                | ВЧ 35         | 350              | 140...170  | 22           |
|                | ВЧ 40         | 400              | 140...202  | 15           |
|                | .....         | .....            | .....      | .....        |
| Ковкие         | ВЧ 100        | 1000             | 270...360  | 2            |
|                | КЧ 30-6       | $\geq 300$       | $\leq 163$ | 6            |
|                | КЧ 33-8       | $\geq 330$       | $\leq 163$ | 8            |
|                | КЧ 37-12      | $\geq 370$       | $\leq 163$ | 12           |
|                | .....         | .....            |            | .....        |
|                | КЧ 63-2       | $\geq 630$       | $\leq 269$ | 2            |

Кремний Si способствует графитизации чугуна, и улучшает его литейные свойства. В серых чугунах содержится 0,8 ...4,5 % Si.

Марганец Mn способствует отбеливанию чугуна, но содержание Mn до 1,2% полезно, т.к. увеличиваются твердость и прочность чугуна.

Фосфор P повышает жидкотекучесть чугуна, поэтому допустимо его содержание до 0,4%, но в ответственных чугунных отливках содержится фосфора менее 0,15%, т.к. с ростом содержания его увеличивается хрупкость чугуна.

Сера S затрудняет графитизацию, увеличивает хрупкость и ухудшает жидкотекучесть чугуна, поэтому серы в чугунах должно быть не более 0,1%.

Серые чугуны делятся на модифицированные, высокопрочные и ковкие (табл. 1.4.).

В серых чугунах графит имеет пластинчатую форму, в высокопрочных-шаровидную, а в ковких-хлопьевидную. Примеры обозначения чугунов:

СЧ25 ГОСТ 1412-85, ВЧ 50 ГОСТ 7293-85.

### 1.7. Углеродистые и легированные стали.

По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные. Углеродистые стали представляют собой сплавы железа Fe с углеродом C при неизбежном наличии примесей других химических элементов.

Легированные стали это тоже сплавы железа Fe с углеродом C, но с специально добавленными легирующими элементами (хром, марганец, кремний, титан, ванадий и другие химические элементы), придающими стали какие-то необходимые свойства. По назначению (рис.1.31) углеродистые стали делятся на конструкционные и инструментальные.

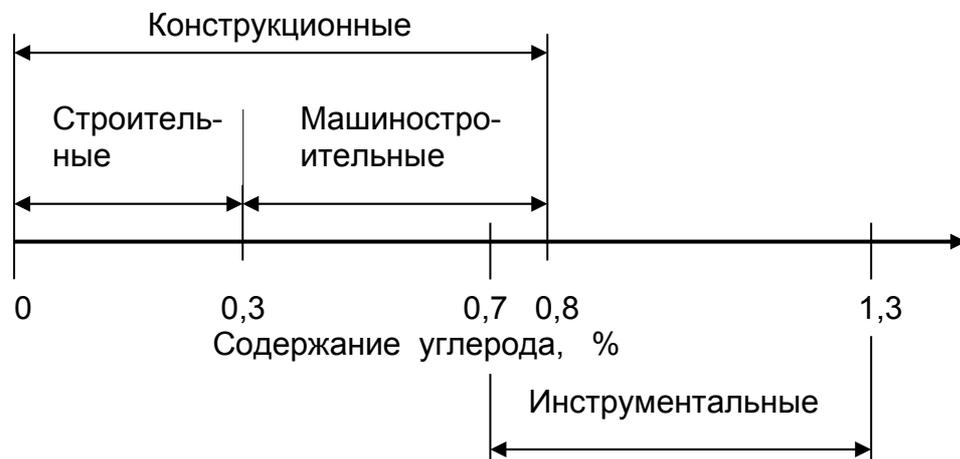


Рис 1.31. Схема видов углеродистых сталей по назначению.

По способу производства могут быть стали: мартеновские, конверторные, бессемеровские, томасовские, кислородно – конверторные и электростали.

Конструкционные стали различаются по качеству (рис. 1.32) :

- обыкновенного качества ;
- качественные углеродистые;
- высококачественные.



Рис.1.32. Классификация сталей по качеству.

С возрастанием цифры в марке стали обыкновенного качества группы А (табл.1.5) увеличиваются прочность  $\sigma_B$  и твердость НВ, но снижается пластичность  $\delta$  и ударная вязкость стали( рис.1.33). Это происходит за счет изменения химического состава, в первую очередь содержания углерода.

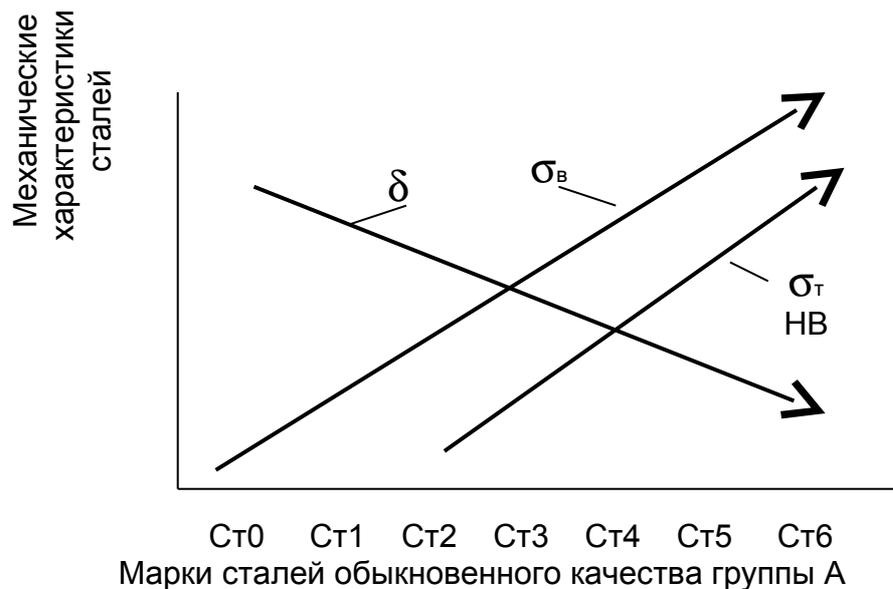
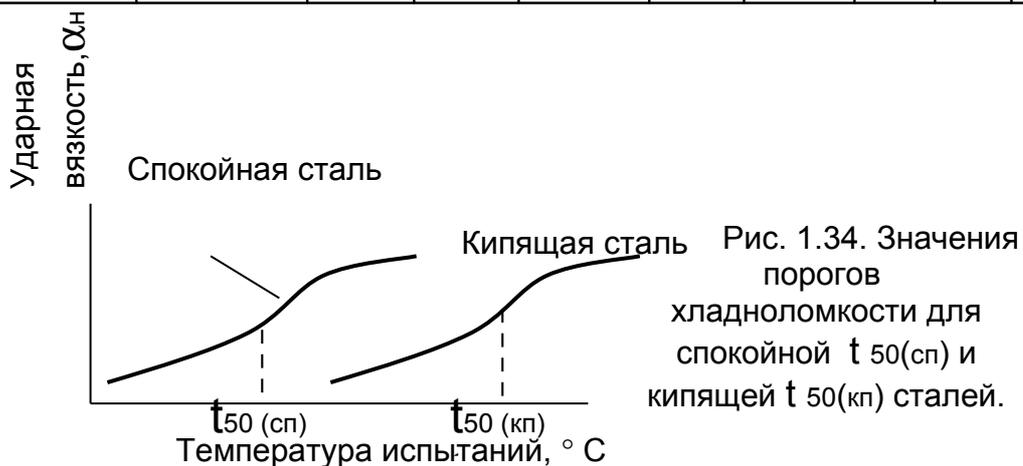


Рис.1.33. Изменение механических характеристик (прочность  $\sigma_B$ , пластичность  $\sigma_T$ , относительное удлинение  $\delta$ ) по маркам сталей группы А (Ст0,Ст1,..Ст6);

Таблица 1.5..

## Механические свойства сталей группы А.

| Марка<br>стали  | $\sigma_{в}$ ,<br>МПа | $\sigma_{т}$ , МПа<br>для толщины в мм |        |        |       | $\delta$ , %, для толщины в мм |             |      | Изгиб на<br>180° для<br>толщины до<br>20 мм |
|-----------------|-----------------------|--|--------|--------|-------|--------------------------------|-------------|------|---|
|                 |                       | до 20                                  | 21..40 | 41.100 | > 100 | до 20                          | 21...<br>40 | > 40 |   |
| Ст 0            | > 300                 | —                                      | —      | —      | —     | 23                             | 22          | 20   | d = 2a                                      |
| Ст1кп           | 300 ... 390           | —                                      | —      | —      | —     | 35                             | 34          | 32   | d = 0,5a                                    |
| Ст1пс, Ст1сп    | 310 - 410             | —                                      | —      | —      | —     | 34                             | 33          | 31   | d = 0,5a                                    |
| Ст2кп           | 320 ... 410           | 215                                    | 205    | 195    | 185   | 33                             | 32          | 30   | d = a                                       |
| Ст2пс,<br>Ст2сп | 330 ... 430           | 225                                    | 215    | 205    | 195   | 32                             | 31          | 29   | d = a                                       |
| Ст3кп           | 360 ... 460           | 235                                    | 225    | 215    | 195   | 27                             | 26          | 24   | d = a                                       |
| Ст3пс,<br>Ст3сп | 370...480             | 245                                    | 235    | 225    | 205   | 26                             | 25          | 23   | d = a                                       |
| Ст3Гпс          | 370...490             | 245                                    | 235    | 225    | 205   | 26                             | 25          | 23   | d = a                                       |
| Ст3Гсп          | 390... 570            | —                                      | 245    | —      | —     | —                              | 24          | —    | d = a                                       |
| Ст4кп           | 400...510             | 255                                    | 245    | 235    | 225   | 25                             | 24          | 22   | d = 2a                                      |
| Ст4пс, Ст4сп    | 410...530             | 265                                    | 255    | 245    | 235   | 24                             | 23          | 21   | d = 2a                                      |
| Ст5пс,<br>Ст5сп | 490...630             | 285                                    | 275    | 265    | 255   | 20                             | 19          | 17   | d = 3a                                      |
| Ст5Гсп          | 450... 590            | 285                                    | 275    | 265    | 255   | 20                             | 19          | 17   | d = 3a                                      |
| Ст6сп, Ст6сп    | > 590                 | 315                                    | 305    | 295    | 295   | 15                             | 14          | 12   | —   |



a — толщина образца, мм ; d — диаметр оправки

При разливке стали в ней может оставаться кислород, который удаляется непосредственно в сталеразливочном ковше:



Выделяющий при раскислении углекислый газ в виде воздушных пузырьков создает иллюзию "кипения" стали.

В зависимости от степени раскисления стали могут быть: кипящими (кп), содержащими менее 0,05 % Si; спокойными (сп), содержащими до 0,15... 0,3 % Si; полуспокойными (пс). По стоимости кипящие стали (Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп) самые дешевые, но имеют порог хладноломкости на 30... 40 % выше (рис.1.34), чем стали спокойные (Ст1сп, Ст2сп,...). Поэтому для ответственных сварных конструкций, особенно работающих при низких температурах в условиях Тюменского Севера, используют спокойные стали.

С повышением содержания углерода свариваемость сталей ухудшается, поэтому стали Ст5, Ст6 применяются для элементов строительных конструкций не подвергаемых сварке.

Стали группы Б различаются (табл. 1.6) по химическому составу :БСт0, БСт1, БСт2 ,БСт3, БСт4, БСт5,.БСт6. С ростом цифры в марке стали увеличивается содержание углерода , кремния и марганца. Естественно, что это приводит к увеличению прочности и пластичности и к снижению ударной вязкости.

Таблица 1.6  
Химический состав сталей группы Б, %

| Марка стали | Углерод, С    | Кремний, Si   | Марганец ,Mn |
|-------------|---------------|---------------|--------------|
| БСт0        | Не более 0,23 | —             | —            |
| БСт1кп      | 0,06 ...0,12  | Не более 0,05 | 0,25 ... 0,5 |
| БСт1пс      |               | 0,05 ...0,17  |              |
| БСт1сп      |               | 0,12 ...0,3   |              |
| БСт2кп      | 0,09 ...0,15  | Не более 0,07 | 0,25...0,5   |
| БСт2пс      | 0,09 ...0,15  | 0,05 ...0,17  |              |
| БСт2сп      |               | 0,12 ...0,3   |              |
| БСт3кп      | 0,14 ...0,22  | Не более 0,07 | 0,3 ...0,6   |
| БСт3пс      |               | 0,05... 0,17  | 0,4...0,65   |
| БСт3сп      |               | 0,12... 0,3   |              |
| БСт3Гпс     |               | Не более 0,15 | 0,8 ...1,1   |
| БСт3Гсп     | 0,14 ...0,2   | 0,12 ...0,3   |              |
| БСт4кп      | 0,18 ...0,27  | Не более 0,07 | 0,4 ... 0,7  |
| БСт4пс      |               | 0,05... 0,17  |              |
| БСт4сп      |               | 0,12 ... 0,3  |              |
| БСт5пс      | 0,28 ... 0,37 | 0,05 ...0,17  | 0,5 ... 0,8  |
| БСт5сп      |               | 0,15 ... 0,35 |              |
| БСт5Гпс     | 0,22 ... 0,3  | Не более 0,15 | 0,8 ....1,2  |
| БСт6пс      | 0,38 ...0,49  | 0,05 ...0,17  | 0,5 ... 0,8  |
| БСт6сп      |               | 0,15 ... 0,35 |              |

Примечание: 1. В стали марки БСт0 — фосфора не более 0,07, серы — 0,06%. 2. Во всех марках стали, указанных в таблице, кроме БСт0, фосфора не должно быть больше 0,04%; серы — 0,05; хрома, никеля, меди — 0,3 каждого элемента; мышьяка — 0,08%.

Стали группы В нормируются как по химическому составу, так и по механическим характеристикам: ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Стали обыкновенного качества выпускаются в виде проката: швеллер, труба, лист, прутки, балка и т. д. Углеродистые стали специального назначения (мосто- и судостроения, сельскохозяйственного машиностроения) имеют дополнительные индексы, например, для мостовых конструкций используется сталь Ст3мост.

М — мартеновская, Б — бессемеровская сталь. Например, мартеновская спокойная сталь : МСт2сп. Спокойные стали имеют более высокие ударные вязкости и сопротивление динамического разрушения.

Качественные углеродистые стали подразделяются на две группы: с нормальным содержанием марганца (0,5кп, 0,8кп, ...20, 25, ..., 85.) и с повышенным( 0,7 ...1,2 % Mn) содержанием марганца (15Г, 20Г,...,70Г) и содержат меньшее количество серы S (до 0,04%) и фосфора P (до 0,03% ), чем стали обыкновенного качества.

Цифры в марках качественных углеродистых и легированных сталей означают сотые доли % содержания углерода в ней. По содержанию углерода в стали они делятся на *низкоуглеродистые* (до 0,3 % C), *среднеуглеродистые* (0,3...0,5 % C) и *высокоуглеродистые* (свыше 0,5 % C).

Низкоуглеродистые стали 0,8кп, 0,5кп используются для листовой штамповки., а стали 10,15, ...20,25 – для изготовления сварных конструкций .

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45 и 50 применяются для изготовления (с нормализацией и поверхностной закалкой) деталей, подверженных большим нагрузкам, так, например, из сталей 45, 50 изготавливаются коленчатые валы и другие ответственные детали. автотракторных двигателей .

Высокоуглеродистые качественные стали 55, 60, 65 и 70 используются для изготовления деталей ( пружины, рессоры, зубчатые колеса и т. д.) с последующей их термической обработкой .

Высококачественные стали обозначаются буквой А в конце марки : У7А, У8А,..., У13А, они содержат еще более низкое по сравнению с качественными сталями количество серы S (до 0,02%) и фосфора P (до 0,03%).

Инструментальные качественные углеродистые стали (У7, У8, ..., У13) используются для изготовления режущего (сверло, резец,...), измерительного (линейки, калибры,...) и штамповочного инструмента. Цифра в марке инструментальных сталей показывает содержание углерода в десятых долях процента ( в других марках- сотые доли процента)

### Легированные стали.

Углеродистые стали имеют недостаточную прочность, повышенную склонность к старению и низкую коррозионную стойкость, плохо прокаливаются, хрупки при низких температурах и т.д. Поэтому очень важно улучшить эксплуатационные характеристики сталей, получить стали с особыми свойствами, например, жаропрочные, нержавеющие и т.д. Это достигается изменением химического состава стали .

Сталь называется *легированной*, если в неё вводятся специальные (легирующие) элементы, изменяющие её свойства (табл. 1.7) ,или в ней имеется более 1% Si, или Mn. Эти легирующие элементы в буквенном виде включаются в марки сталей :

|             |           |             |
|-------------|-----------|-------------|
| В-вольфрам, | Д-медь,   | А-азот,     |
| Ф-ванадий,  | Н-никель, | Ю-алюминий, |
| К-кобальт,  | Т-титан,  | Б-ниобий,   |
| С-кремний,  | Х-хром,   | Е-селен,    |
| М-молибден, | Р-бор,    | Ц-цирконий  |
| Г-марганец, | П-фосфор, |             |

Число в начале марки конструкционной стали указывает на содержание углерода в сотых долях %, а цифры после соответствующих букв- среднее содержание этого химического элемента. в %. Если после буквенного обозначения нет цифры, то данного элемента находится в стали около 1 %.

Таблица 1. 7.

Влияние\* легирующих элементов на свойства сталей.

| Характеристики                  | Влияние легирующих элементов |    |    |    |    |   |    |    |
|---------------------------------|------------------------------|----|----|----|----|---|----|----|
|                                 | C                            | Cr | Ni | Mn | Si | W | V  | Cu |
| Прочность на разрыв, $\sigma_b$ | ↑↑                           | ↑  | ↑  | ↑  | ↑  | ↑ | ↑  | ↑  |
| Предел текучести, $\sigma_t$    | ↑                            | ↑  | ↑  | ↑  | ↑  | ↑ | ↑  | ↑  |
| Относит. удлинение, $\delta$    | ↓                            | 0  | 0  | ↓  | ↓  | ↓ | ↓  | 0  |
| Твердость                       | ↑↑                           | ↑  | ↑  | ↑  | ↑  | ↑ | ↑  | 0  |
| Ударная вязкость, $\alpha_n$    | ↓                            | ↑  | ↑  | ↓  | ↓↓ | ↓ | 0  | 0  |
| Усталостная прочность           | ↑                            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | ↑↑ | 0  |
| Свариваемость                   | ↓                            | 0  | 0  | 0  | ↓  | 0 | ↑  | ↓  |
| Коррозионная стойкость          | 0                            | ↑  | ↑  | ↑  | ↓  | 0 | ↑  | ↑↑ |

\* Условные обозначения: ↑ -повышает; ↑↑ - значительно повышает;  
0- не влияет; ↓ - снижает; ↓↓ - значительно снижает.

По химическому составу легированные стали могут быть:

- низколегированными (суммарное количество легирующих элементов до 2,5%);
- среднелегированными (2,5 ...10% легирующих элементов);
- высоколегированными ( > 10% легирующих элементов).

Сталь может быть легирована только одним элементом : хромистая (Cr), никелевая (Ni), ванадиевая (W); двумя, тремя и более элементами, например, хромоникелеванадиевая сталь 18Х2Н4В. Марка этой стали расшифровывается следующим образом: среднелегированная ( 2% хрома+ 4% никеля + 1% ванадия = 7% легирующих элементов) хромоникелеванадиевая сталь, содержащая 0,18 % углерода, 2% хрома, 4% никеля и 1% вольфрама.

Марка стали 40 ХН4А расшифровывается как высококачественная (индекс А в конце обозначения), среднелегированная (1% хрома +4% никеля=5% легирующих элементов) хромистоникелиевая сталь, содержащая 0,4 % углерода, 1 % хрома и 4 % никеля .

Химические элементы могут образовывать с железом химические соединения и твердые растворы замещения.

Элементы первой группы - аустенитообразующие (Ni, Mn, C, N, Cu, Cd), расширяют  $\gamma$  область диаграммы железо-углерод, повышая точку А4 и снижая А3. Легирующие элементы 1-ой группы улучшают закалку. Легированный аустенит увеличивает прочность стали не только при комнатных, но и при повышенных температурах, улучшает ее коррозионную стойкость.

Элементы второй группы – ферритообразующие (Al, Si, W, Ti, Mo, Cr) сужают  $\gamma$  область и расширяют  $\delta$  область. Они понижают точку А4 и повышают точку А3. Легирующие элементы 2 - ой группы растворяются в феррите, изменяют его свойства и, следовательно, свойства стали в целом.

Легированные стали подразделяются на конструкционные, инструментальные и со специальными химическими свойствами (жаропрочные, нержавеющие и т.д.)

Низколегированные конструкционные стали широко используются в строительстве и машиностроении. Это следующие стали.

Марганцовистые стали (15Г, 20Г, ..., 30Г, 40Г и др.) содержат 0,7... 1,8% марганца, который образует с ферритом и аустенитом твердый раствор, а с углеродом карбиды.

Кремнистые стали (50С2, 55С2, 60С2, 70С3А ) содержат кремния 1,5 ...8%. Из них изготавливаются рессоры и пружины.

Хромистые конструкционные стали (15Х, 20Х, ...,50Х ), содержат около 1 % хрома. У них улучшается закалка, но пластичность после закалки почти не снижается , а твердость увеличивается.

Хромомолибденовая сталь 35ХМА используется для изготовления высоконагруженных болтов, шпилек, валов, шестерён. Она хорошо сваривается.

Применение низколегированных строительных сталей (10ХСНД, 15ХСНД, 16ГС, 16Г2СД, 09Г2, 14Г2 и др.) позволяют снизить вес строительных конструкций, повысить коррозионную стойкость, снизить чувствительность к низким температурам и к старению.

Горячекатанный прокат (листовой, швеллеры, двутавры, сталь угловую) из углеродистых и низколегированных сталей, предназначенный для изготовления сварных строительных конструкций, вне зависимости от его химического состава (марки стали), а принимая во внимание только механические свойства (предел текучести  $\sigma_T$ ), подразделяют на условные классы строительных сталей (табл. 1.8).

Таблица 1. 8.

Классы \* строительных сталей

| Уровни прочности | Класс стали | Предел текучести (не ниже), МПа | Марки сталей       |                       |
|------------------|-------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Обычной          | C-235       | 235                             | Ст3кп2, 18кп       |                       |
|                  | -/-         | C-245                           | 245                | Ст3пс6, Ст3сп5,18пс   |
|                  | -/-         | C-255                           | 255                | Ст3Гпс5,Ст3Гсп6,18Гсп |
|                  | -/-         | C-275                           | 275                | Ст3пс6                |
|                  | -/-         | C-285                           | 285                | Ст3сп5, Ст3Гсп5       |
| Повышенной       | C-345       | 345                             | 09Г2С, 12Г2С, 14Г2 |                       |
|                  | -/-         | C-345Т                          | -/-                | 15ХСНД, Ст3Тпс        |
|                  | -/-         | C-345К                          | -/-                | 10ХНДП                |
|                  | -/-         | C-375, C-375Д                   | 375                | 12Г2С,12Г2СД          |
|                  | -/-         | C-390, C=390Т                   | 390                | 14Г2АФ,10Г2С1,10ХСНД  |
|                  | -/-         | C-390К                          | -/-                | 15Г2АФД               |
|                  | -/-         | C-440                           | 440                | 16Г2АФ                |
| Высокой          | -/-         | C-590                           | 590                | 12Г2СМФ               |
|                  | -/-         | C-590К                          | -/-                | 12ГН2МФАЮ             |

\* - буквенные обозначения в классах : С- сталь строительная; К и Д – варианты химического состава.

Нержавеющие стали содержат 0,1 ...0,45 % С, 12 ...14 % Сг. Окись хрома защищает изделие от разрушения в агрессивной среде. Высокой коррозионной стойкостью обладают и хромоникелевые сплавы ( 0,12 ...0,14 % С; 17 ...20 % Сг; 8 ...11 % Ni ).

*Износостойкие* стали - это марганцовистые стали, содержащие 0,9 ...1,1 % С и 12 ...14 % Mn, из них изготавливаются рабочие органы экскаваторов, драг и т.д.

Легирующие добавки вводят в сталь при её производстве в виде ферросплавов: ферросилициума, ферромарганца и феррохрома. Ферросплавы получают в доменных печах, но чаще их производят из руды или рудного концентрата методом восстановления в электропечах.

Из многих легирующих элементов особое место занимает по эффективности ванадий, причем он гораздо дешевле многих других легирующих элементов. Стали, упрочненные соединением ванадия с азотом, хорошо работают при низких температурах в условиях Крайнего Севера.

Ванадиевые ( всего 0,06 ...0,12 % ванадия ) стали только на 3...10 % дороже обычных углеродистых сталей, но в ряде случаев срок службы изделий повышается вдвое, существенно снижается вес узлов и машин в целом. Так крановые колеса и шестерни, изготовленные из ванадиевого сплава, долговечнее обычных в 1,5 ...2 раза. Опорные катки гусеничных тракторов, изготовленные из ванадиевой стали, становятся долговечнее на 30%.

#### Арматурные стали.

Имеется 7 классов ( табл.1.9) арматурной стали: А -I — круглого профиля; А -II ...А - VI — периодического профиля ( для повышенного сцепления с бетоном).

Основной характеристикой для арматурных сталей является предел текучести  $\sigma_T$ , т.к. в случае его превышения нарушается сцепление бетона с арматурным стержнем и появляются трещины в бетоне. Для увеличения предела текучести  $\sigma_T$  проводят упрочнение арматуры (рис.1.35) путем предварительного растягивания ( $L_p$ ) стальных стержней арматуры на 3,5 ...5,5 % их первоначальной длины ( $L_0$ ).

При растягивании происходят зональные разрушения в кристаллической решетке, возникает «наклеп», т.е. упрочнение материала в наименее «слабых» сечениях. После предварительного растяжения начальная длина стержня увеличивается до  $L_y$ , а площадка текучести  $\sigma_{T0}$  после предварительного растяжения перемещается  $\sigma_{Ty}$  по оси ординат кверху.

При работе предварительно деформированного стержня его растяжение происходит по пунктирной линии ; прочность железобетона существенно возрастает, т.к.  $\sigma_{тy} > \sigma_{тo}$ .

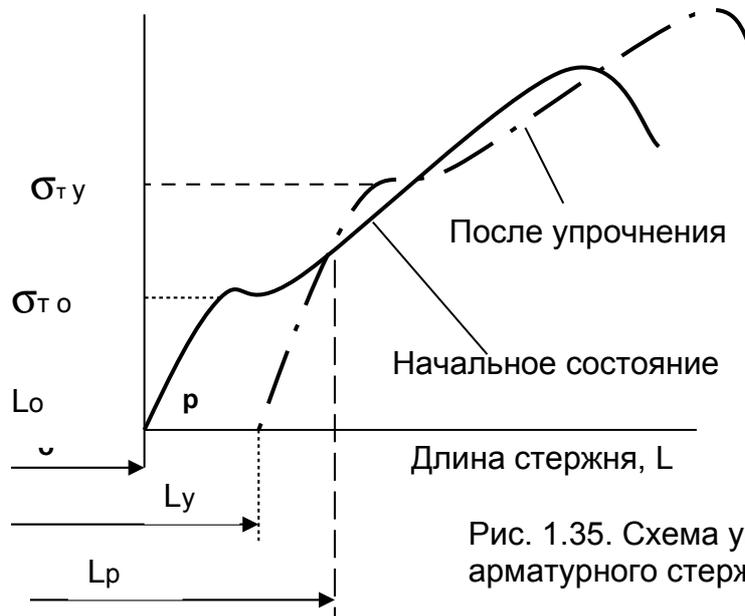


Рис. 1.35. Схема упрочнения арматурного стержня.

Таблица 1. 9...

Механические свойства арматурной стали по классам.

| Класс арматурной стали | Диаметр стержня, мм                        | Марка стали   | Предел текучести $\sigma_{т}$ , МПа | Временное сопротивление разрыву $\sigma_{в}$ , МПа | Относительное удлинение $\delta_L$ , % | Испытание на изгиб в холодном состоянии |
|------------------------|--|---|-------------------------------------|--|--|---|
| A-I                    | 6...40<br>6...18                           | Ст3кп3, Ст3пс3,<br>Ст3сп3, ВСт3кп2,<br>ВСт3пс2, ВСт3сп2<br>ВСт3Гпс2 | 235                                 | 373  | 25                                     | На 180°<br>c=0,5 d                      |
| A-II                   | 10...40<br>40...80                         | ВСт5сп2, ВСт5пс2<br>18Г2С   | 294                                 | 490  | 19                                     | На 180°<br>c=3 d                        |
| Ac-II                  | 10...32<br>(36...40)                       | 10ГТ  | 294                                 | 441  | 25                                     | На 180°<br>c= d                         |
| A-III                  | 6...40<br>6...22                           | 35ГС, 25Г2С<br>32Г2Рпс  | 392                                 | 590  | 14                                     | На 90°<br>c=3 d                         |
| A-IV                   | 10...18<br>(6...8)<br>10...32<br>(36...40) | 80С<br>20ХГ2Ц   | 590                                 | 883  | 6                                      | На 45°<br>c=5 d                         |
| A-V                    | (6...8)<br>10...32<br>(36...40)            | 23ХГ2Т  | 785                                 | 1030   | 7                                      | На 45°<br>c=5 d                         |
| A-VI                   | 10...22                                    | 22ХГ2АЮ,<br>22ХГ2Р,<br>20ХГ2СР                                      | 980                                 | 1230   | 6                                      | На 45°<br>c=5 d                         |

Примечание:

1. Буквой *s* обозначена толщина оправки, буквой *d* — диаметр стержня.
2. Диаметр, указанный в скобках, применяют по согласованию потребителя с изготовителем.

### 1.8. Термическая обработка стали.

Свойства металлов и сплавов зависят не только от химического состава, но и от структуры. С помощью термической обработки (нагрева до определенной температуры, выдержки при этой температуре и подбором различных скоростей охлаждения) можно получить ту или иную структуру (рис. 1.36).

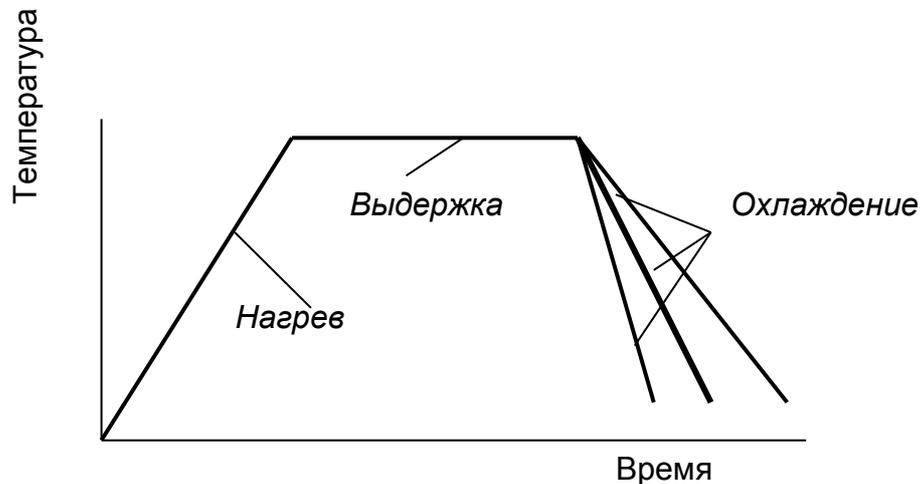


Рис. 1.36. Схема термообработки металлов и сплавов.

Из диаграммы Fe - C (рис 1. 29) видно, что в результате медленного охлаждения доэвтектоидные стали приобретают структуру феррита и перлита, а заэвтектоидные — перлита и вторичного цементита.

Критическими точками называют температурные точки, при которых происходят эти превращения :

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| точки $A_{c1}$ , $A_{r1}$ | на линии PSK; |
| точки $A_{c2}$ , $A_{r2}$ | на линии MO;  |
| точки $A_{c3}$ , $A_{r3}$ | на линии GOS; |
| точки $A_{c4}$ , $A_{r4}$ | на линии HJB; |
| точки $A_{cm}$            | на линии SE.  |

(На рис 1.29. представлена упрощенная диаграмма; фактически же в верхней части ее около точки A и внизу около точки P наблюдается более сложная картина, поэтому некоторые вышеуказанные линии на ней не показаны.)

Приняты обозначения для линий нагрева -  $A_c$  и охлаждения -  $A_g$ . Выше этих точек сплав будет находиться в одной фазе, а ниже – в другой. При этом изменения фаз ниже линий  $A_g$  происходят в твердом состоянии сплава.

Имеется несколько видов термической обработки (рис.1.37) :

1. Рекристаллизационный отжиг ( отжиг I рода ), в сплавах отсутствуют фазовые превращения. Применяется для снижения внутренних напряжений, уменьшения твердости и повышения пластичности после холодной обработки.
2. Отжиг с фазовой перекристаллизацией ( отжиг II рода ). Температура нагрева выше температуры фазовых превращений, поэтому происходят фазовые изменения. Охлаждение ведется медленно. Получают мелкозернистую структуру, снимают внутренние напряжения.
3. Закалка. Нагрев выше температуры фазовых превращений и очень быстрое охлаждение. В результате фиксируются фазы и структуры, характерные для высоких температур. Прочность и твердость повышается, но структуры находятся в неравновесном состоянии.
4. Отпуск. Нагрев ниже температуры фазовых превращений с целью приближения к устойчивому равновесному состоянию. Увеличивается пластичность, но снижается твердость и прочность.
5. Химико — термическая обработка – насыщение сплавов углеродом C, азотом N, серой S и другими химическими элементами путем выдержки сплавов в газовых, жидких или твердых средах.

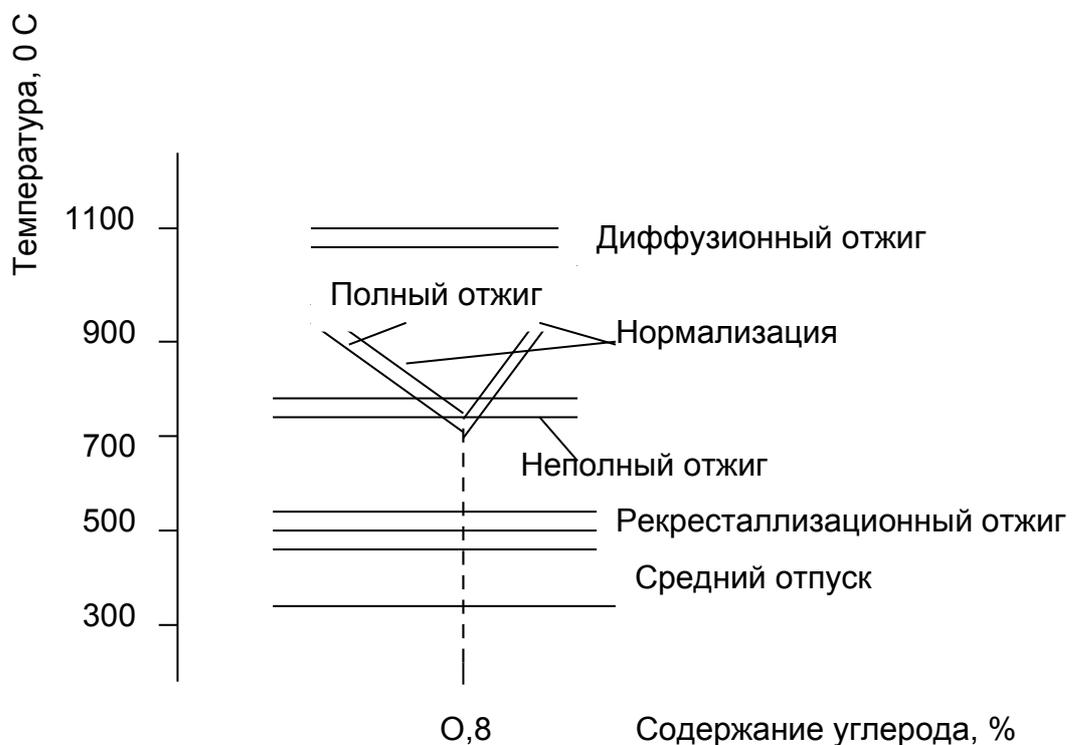


Рис.1.37. Температуры нагрева сталей при различных видах термообработки.

Диффузионный отжиг 1 рода устраняет химическую неоднородность в слитках и отливках; металл нагревается до температуры  $T_n$ , составляющей 80...90% температуры плавления  $T_{пл}$ .

Рекристаллизационный отжиг устраняет наклеп нагревом металла до температуры  $T_n = (0,2...0,6) T_{пл}$ . Он необходим для подготовки заготовок из проката для последующей механической обработки при изготовлении деталей..

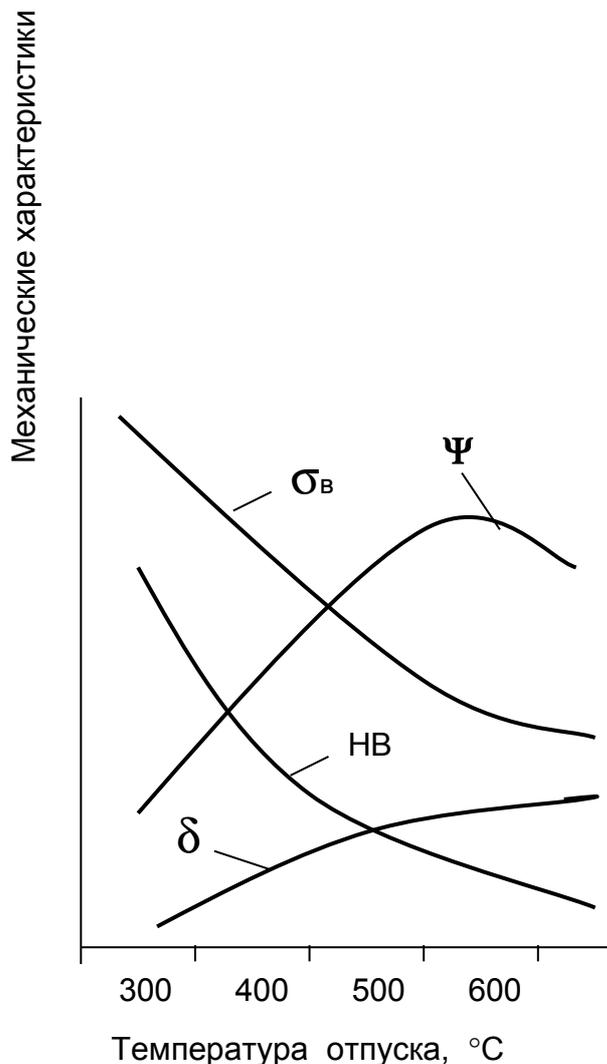
Отжиг необходим для уменьшения остаточного напряжения в отливках, сварных конструкциях и после механической обработки. Он предотвращает коробление и стабилизирует размеры детали.

Нормализация это нагрев стали на 30..50 °С выше критических точек  $A_{c3}$  и  $A_{c4}$ , выдержка необходимое время и более быстрое охлаждение на воздухе, чем при отжиге, поэтому получается более мелкозернистый перлит, выше прочность и твердость металла. Охлаждение детали при отжиге проводится более медленно (деталь охлаждается вместе с печью), чем при нормализации (деталь охлаждается на воздухе).

Отпуску подвергают закаленную сталь для повышения её вязкости и пластичности при некотором уменьшении твердости и прочности (рис. 1.38).

Нагревают деталь до температуры ниже  $A_{c1}$  и охлаждают на воздухе.

Низкий отпуск (150 ... 250 °С) проводится для изделий, обладающих высокой твердостью режущие инструменты : напильники, метчики, плашки,...). Средний отпуск (350 ... 400 °С) необходим для изделий, обладающих высокой упругостью и прочностью при достаточной вязкости (пружины, рессоры,...). Высокий отпуск (450 ... 650 °С) дает наиболее вязкую структуру, но наименьшую твердость и прочность (валы, шестерни и другие детали). Для легированных сталей температура отпуска подбирается более высокой, чем для углеродистых сталей.



*Закалка сталей.*

Рис. 1.38. Влияние температуры отпуска на механические характеристики стали.

Закалка и отпуск проводятся в комплексе с целью повышения механической прочности и твердости и сохранения достаточно вязкой структуры.

**Закалка** — это нагрев стали на 30...50 °С выше температуры фазовых превращений, выдержка при этой температуре и последующее очень быстрое охлаждение в воде или в масле. Полученные при быстром охлаждении структуры являются нестабильными, они представляют собой различные стадии превращений аустенита ( мартенсит, троостит, сорбит ).

Процесс закалки сталей всегда был окутан мистикой, т.к. человек не знал процессов, происходящих при этом. Вспомним тайну булата. Еще до новой эры изготавливали булат (дамасская сталь), потом секрет был утерян, и только русский металлург Аносов П.П. в 1833 году в городе Златоусте открыл секрет. Оказывается здесь комплекс воздействий на металл: нагрев до определенной температуры, выдержка ( насыщение поверхности лезвия углеродом в кузнечном горне) и поэтапная ковка и закалка в несколько приемов. В итоге получается вязкая середина и высокая поверхностная твердость лезвия клинка из-за насыщения поверхности углеродом и закалки.

В середине XVII века «по неведению» возили в Америку из Англии воду, чтобы добиться таких же результатов закалки, как и в Англии. И вообще был даже арабский рецепт закалки такого рода: нагреть кинжал до каления, охладить до цвета царского пурпура, погружая его в тело мускулистого раба. Считали, что сила раба перейдет в кинжал и придаст ему твердость. Также, были английские патенты с рекомендацией добавления в охлаждающую воду полевых цветов.

Дозэвтектоидные стали (конструкционные стали) при закалке нагревают на 30 ...50 °С выше точки  $A_{c3}$ ; феррит и перлит образуют однородный твердый раствор аустенита. Если охлаждение металла проводить медленно, то будут происходить обычные фазовые превращения в соответствии с диаграммой железо-углерод. При очень быстром охлаждении аустенит не успевает изменить свою фазу при температурах ниже 727 °С, а в диапазоне температур 300...350 °С и ниже с ним происходят так называемые аустенитные превращения и образуется мелкоигльчатый мартенсит. Это будет полная закалка. А если нагреть сталь в интервале  $A_{c1}$  ..  $A_{c3}$ , то будет неполная закалка (частичная перекристаллизация стали).

Эвтектоидные и заэвтектоидные стали также нагревают до температуры на 30... 50 °С выше  $A_{c1}$ , выдерживают и быстро охлаждают. В заэвтектоидной

стали будет: мартенсит, вторичный цементит и остаточный аустенит (неполная закалка).

Нагревать деталь надо постепенно и равномерно, чтобы не было внутренних напряжений, трещин и разрушений. Однако медленный нагрев — это снижение производительности, обезуглераживание и окисление поверхности.

Чем больше углерода и легирующих элементов в стали, чем сложнее форма, тем медленнее надо нагревать деталь .

Предохранение от окисления металла проводится путем использования защитной газовой среды ( $\text{CO}_2$ , N,...) или вакуумных печей.

Охлаждение должно иметь большую скорость в пределах 650... 500 °С (чтобы не было распада аустенита на смесь феррита и цементита) и более медленно при 300... 200 °С, т.к. в этой области при образовании мартенсита возникают большие внутренние напряжения.

Вода очень хорошо охлаждает деталь в интервале 650... 550 °С, но и слишком быстро в интервале 300 ...200°С, поэтому для закалки высокоуглеродистых и легированных сталей применяют минеральные масла.

Изделия сложной формы закаливают в двух различных жидких средах или прерывистой закалкой (перенос в другую охлаждающую среду).

*Закалка с самоотпуском.* «Главными» инструментами в строительстве пока являются лом, зубило, кувалда и молоток, которые должны иметь высокую твердость на поверхности и сравнительно вязкую сердцевину. Охлаждение их при закалке ведут не до конца, поэтому за счет тепла внутренних слоёв детали происходит отпуск (самоотпуск) металла.

Поверхностная закалка . Нагрев поверхности металла проводится токами высокой частоты (т.в.ч.), газовыми горелками и плазмой . При поверхностной закалке уменьшается коробление детали и практически нет окалины. В итоге образуется вязкая середина и твердая поверхность. Причем твердость поверхности будет выше, чем при обычной закалке.

Закалка с последующе обработкой холодом проводится для высокоуглеродистых сталей, у которых температура мартенситного превращения сталей находится в отрицательной области температур.

При химико - термической обработке (ХТО) сталей изменяется химический состав, структура и свойства поверхностного слоя. В результате ХТО упрочняется поверхностный слой (повышаются твердость и прочность, износоустойчивость)

Виды ХТО : цементация (насыщение поверхности углеродом), азотирование (насыщение азотом), цианирование (насыщение азотом и углеродом), металлизация, хромирование, борирование и др.

При цементации науглераживают поверхность на глубину 0,5.. 2 мм до повышения содержания углерода до 0,75... 1,2%. Цементация проводится в твердых (древесный уголь), газовых (природный газ, смеси газов) и жидких средах.

Азотирование — это насыщение стали или чугуна азотом. Чаще всего оно проводится в атмосфере аммиака  $\text{NH}_3$ . Процесс азотирования очень длителен, так насыщение азотом на глубину 0,5 мм надо проводить не менее 60 часов.

Эффективно цианирование ( твердое, газообразное и жидкое) мелких и средних деталей (шестерни, поршни, кольца, валики и др.).

### 1.9. Прокатка металлов.

До 90 % сталей и до 50 % цветных металлов используются в виде проката, штампованных, кузнечных заготовок (рис. 1.39). Достоинство процесса прокатки в высокой экономичности: мало потерь металла, т.к. происходит перераспределение металла по объему, а при обработке резанием много металла идет в стружку; процесс высокопроизводительный; прокат эффективно использовать для изготовления сварных и клепанных конструкций и конструктивно сложных и громоздких деталей.

Деформация может быть холодная и горячая. В последнем случае снижается усилие деформации, но обезуглераживается поверхностный слой и образовывается окалина.

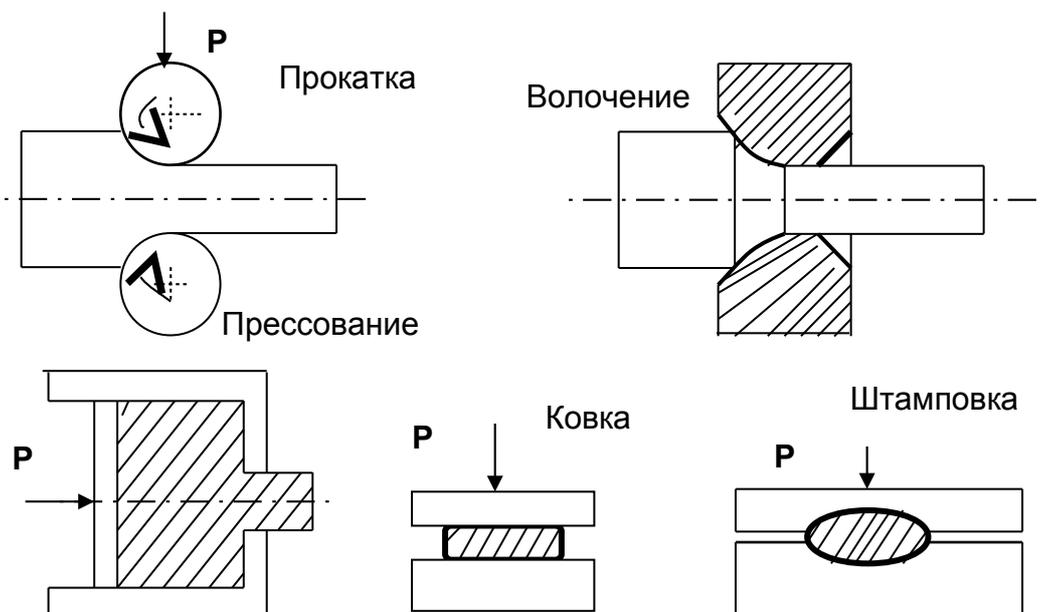


Рис. 1. 39. Виды обработки металлов давлением

На улучшение пластичности металла влияют :

1. Химический состав. Так при содержании углерода свыше 0,15 % сталь уже трудно ковать. Легирующие добавки кремния, хрома и вольфрама снижают пластичность, а никеля и молибдена, наоборот, - повышают.

Для изготовления деталей холодной листовой штамповкой с глубокой вытяжкой применяется кипящая малоуглеродистая сталь (08кп, 10кп,...) с малым содержанием кремния.

2. Температура металла.

3. Скорость деформации; с увеличением ее пластичность падает.

Прокатные станы разделяются на обжимные, заготовительные, сортовые, полосовые, проволочные, листовые, трубопрокатные и специального назначения (рис.1.40).

Крупный по размерам слиток на обжимных станах (блюмингах и слябингах) делится на более мелкие слитки: блюмы квадратного сечения (250 × 250 мм,...) или прямоугольного (300 × 400 мм,...) получают на блюмингах, а слябы (заготовки для листового проката) шириной 400... 2500 мм и высотой 75... 600 мм. – на слябингах. Диаметр валков этих станов от 800 до 1500 мм, на них получают заготовки весом 2 ...35 т для других станов

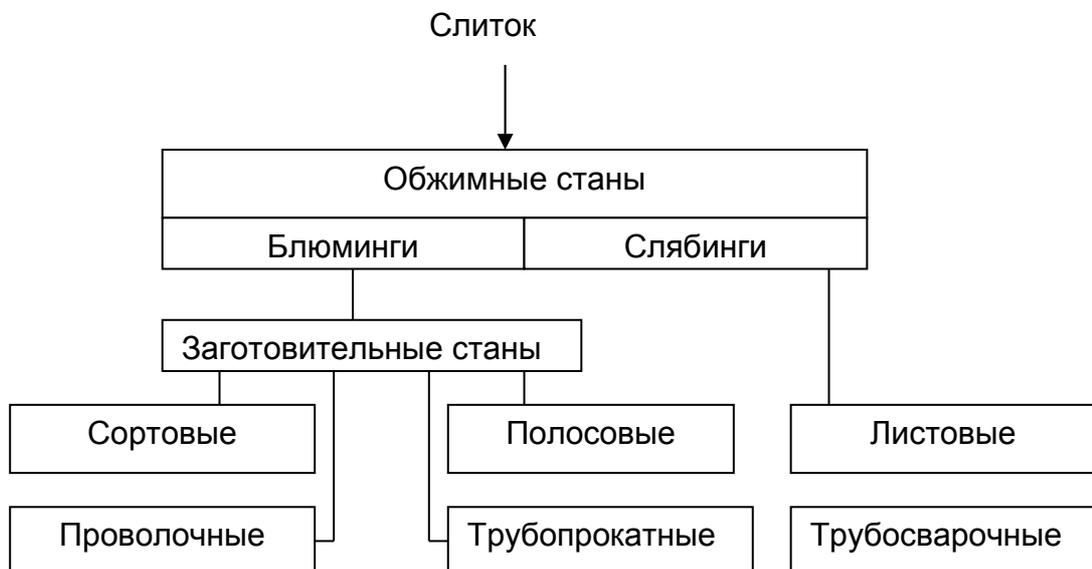


Рис.1.40. Виды прокатных станов.

У слябинга, в отличие от блюминга, есть дополнительные вертикальные валки для обжатия слитка на ширине.

На заготовительных станах получают из блюмов необходимый сортамент проката. Для прокатки листовой стали используются гладкие валки, а на калиброванных валках более сложной формы изготавливаются остальные виды

проката. На калиброванных валках имеются канавки (выступы) – ручьи. Совокупность ручьев пары валков называется калибром, На прокатных станах используются

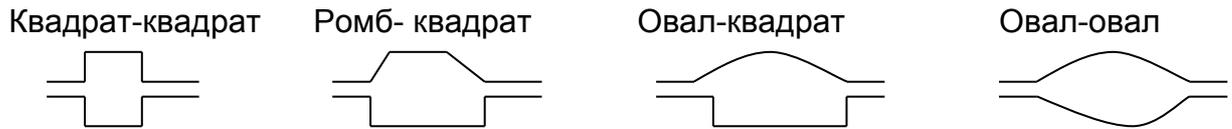


Рис. 1.41. Схемы калибров.

различные (рис.1.41.) виды калибров. Калибровка валков — это разработка схемы прокатки и такое последовательное по длине прокатки размещения калибров, при котором металл проходит через большое количество калибров, в каждом происходит его деформация, а в результате последовательного воздействия на металл обеспечивается получение заданного профиля проката.

#### Сортамент проката.

1. Сортовая сталь : ● -круглая (диаметром 5...250 мм); ■ -квадратная (5 ...250 мм); шестигранная (6...100 мм); I- полосовая (шириной 10... 200 и толщиной 4 ...60 мм): L- угловая сталь (табл. 1.10); лента, проволока; [- швеллера, I- двутавры, рельсы.

2. Листовая сталь (тонколистовая до 4 мм толщиной и толстолистовая -более 4мм ).

3. Специальные виды проката ( колеса, периодические профили, арматурная сталь, гнутые профили и др. ).

4. Стальные трубы (бесшовные и сварные).

Таблица 1.10.

| Размеры профилей стали угловой равнополочной |                   |                  |                   |
|--|-------------------|------------------|-------------------|
| Ширина полок, мм                             | Толщина полки, мм | Ширина полок, мм | Толщина полок, мм |
| 20   | 3 и 4             | 56               | 5                 |
| 25   | ÷                 | 63               | 4,5 и 6           |
| 28   | ÷                 | 70               | ÷                 |
| 32   | ÷                 | 75               | ÷                 |
| 36   | ÷                 |                  |                   |
| 40   | ÷                 | 80               | ÷                 |
| 45   | 3,4 и 5           | 90               | 6,7,8 и 9         |
| 50   | ÷                 | 100              |                   |

По точности прокатки изготавливают сталь угловую высокой ( обозначается индексом А) и — обычной точности ( индекс Б) .

Пример обозначения стали угловой:

Б - 50 x 50 x 3 ГОСТ 8509- 86  
 —————  
 Ст3сп ГОСТ 535 - 79

Расшифровывается , как сталь угловая равнополочная, с шириной полок 50 мм и толщиной 3 мм, обычной точности прокатки по ГОСТ 8509-86 , изготовленная из стали обыкновенного качества группы А, марки Ст3сп по ГОСТ 535 - 79, спокойной .

Сталь угловая неравнополочная может быть размеров: 25 x 16 x 3, 32 x 20 x 3, 40 x 25 x 4 (3) ,....100 x 63 x 6(7, 8 или 9). Пример обозначения:

А - 63 x 40 x 4 ГОСТ 8510 – 86  
 —————  
 Ст2сп ГОСТ 535 - 79

Расшифровывается, как сталь угловая, неравнополочная, с шириной полок 63 и 40 мм и толщиной 4 мм, повышенной точности прокатки ( см. индекс А) по ГОСТ 8510 – 86, изготовленная из стали обыкновенного качества группы А, марки Ст 2сп по ГОСТ 535 – 79, спокойной.

Швеллеры и двутавровые балки (табл. 1.11 ) различаются по номерам, причем номер профиля указывает на высоту в сантиметрах швеллера (двутавровой балки).

Таблица 1.11

Размеры швеллеров и балок двутавровых.

| Номер профиля     | Высота, мм | Ширина, мм | Толщина, мм |
|-------------------|------------|------------|-------------|
| Швеллеры          |            |            |             |
| 5                 | 6,5        | 32         | 4,4         |
| 6,5               | 65         | 36         | 4,4         |
| 8                 | 80         | 40         | 4,5         |
| 10                | 100        | 46         | 4,5         |
| 12                | 120        | 52         | 4,8         |
| 14                | 140        | 58         | 4,9         |
| ...               | ....       | ....       | ....        |
| 22                | 220        | 82         | 5,4         |
| 24                | 240        | 90         | 5,6         |
| Балки двутавровые |            |            |             |
| 10                | 100        | 55         | 4,5         |
| 12                | 120        | 64         | 4,8         |
| 14                | 140        | 73         | 4,9         |
| ...               | ....       | ....       | ....        |
| 22                | 220        | 110        | 5,4         |

Толстолистовую сталь изготавливают из слябов массой до 2 тн. Сначала раскатывают сляб в поперечном направлении до получения необходимой ширины, а затем раскатывают вдоль. На стане имеются нормализационная печь, травильная установка и сушильная машина.

Тонколистовую сталь выпускают в листах и рулонах. После травления рулоны поступают на станы холодной прокатки, где проводится лужение (горячее и электролитическое), или цинкование, или нанесение пластмассового покрытия.

Стальные трубы по способу изготовления делятся на бесшовные (цельнотянутые) и шовные (сварные). Шовные трубы могут быть: прямошовными и спиральношовными, однослойными (традиционная технология) и многослойными (перспективная технология). Сварные трубы дешевле цельнотянутых, но они менее надежны. Сварные трубы изготавливают диаметром от 10 до 2500 мм, а цельнотянутые - до 100 мм.

Технология изготовления бесшовных (цельнотянутых) труб.

Круглый или граненый слиток диаметром 250... 600 мм и массой 0,6 ...3 т прошивается на прошивочном стане (рис. 1.42). Валки (грибовидной или дисковой формы) установлены под углом  $9 \dots 14^\circ$  друг к другу. Заготовка продавливается

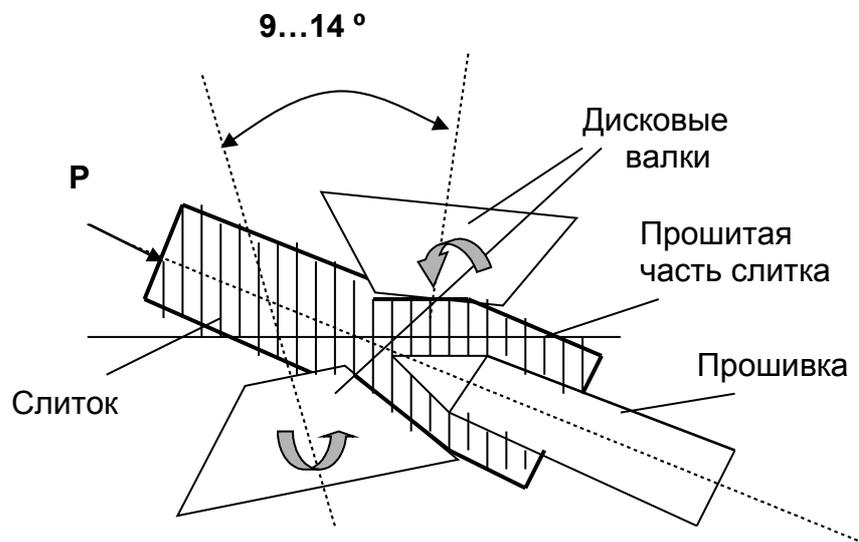


Рис. 1.42.. Схема прошивки слитка.

через оправку, а из - за растягивающих напряжений, создаваемых вращающимися валками, происходит течение металла от центра слитка и за счет этого без больших усилий происходит прошивка отверстия.

Далее проводится раскатка полученной гильзы тоже на оправке (рис. 1.43), в результате уменьшаются внутренний и наружный диаметры и увеличивается длина заготовки. Прокатку выполняют за два прохода с поворотом

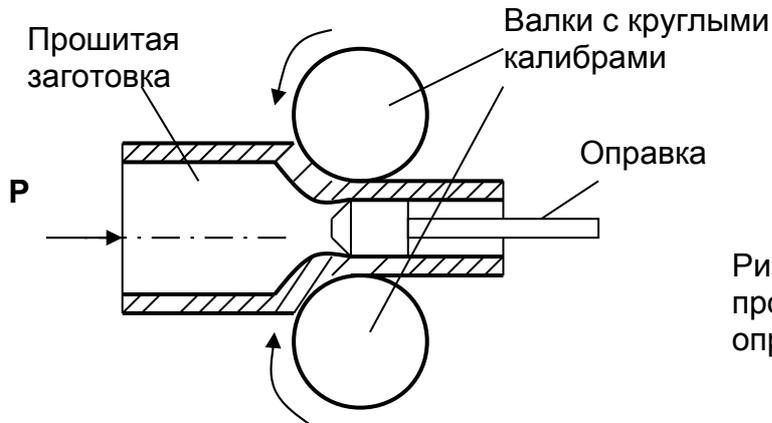


Рис. 1.43. Схема прокатки трубы на оправке.

трубы на  $90^\circ$ . Получают трубу диаметром свыше 57 мм. На третьем этапе получения трубы дальнейшее уменьшение их диаметров ведут в непрерывных станах уже без оправки.

Сварные трубы изготавливаются диаметром до 2500 мм. Они дешевле бесшовных, но менее надежны и прочны. Сначала проводится формовка плоской заготовки в трубу, далее сваривается стык трубы, проводится отделка и правка. Заготовка изготавливается в виде ленты или берутся листы, шириной равные длине трубы. Сваривание проводят способами: электродуговой под слоем флюса, электроконтактной сопротивлением, кузнечной (печной).

При непрерывной печной сварке проводится нагрев заготовки до  $1300 \dots 1350^\circ\text{C}$ , стык обдувается кислородом или воздухом и металл разогревается до

расплавления и проводится кузнечная сварка стыка кромок трубы сжатых роликами непрерывного стана.

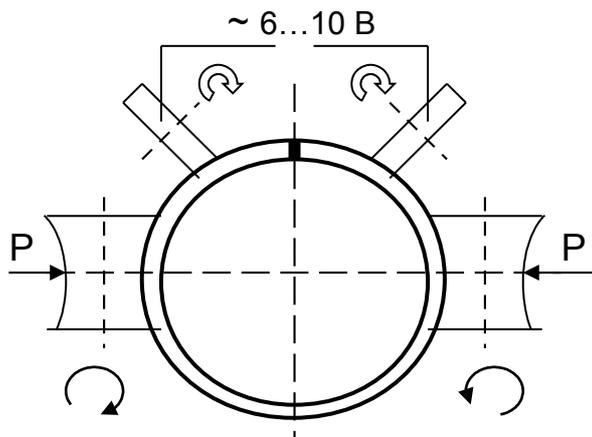


Рис. 1.44. Схема электроконтактной сварки труб.

При электроконтактной сварке (рис. 1.44) заготовка поступает в трубоэлектросварочный стан и сжимается. Стык разогревается электрическим током низкого напряжения ( $6 \dots 10 \text{ В}$ ), подаваемом через сварочные ролики, и при охлаждении сваривается.

Волочение металла - это процесс протягивания проволоки, прутка или трубы через очко специнструмента (волоку). В итоге получают точные размеры, чистая и гладкая поверхность. Перед волочением металл очищают от окалины

промывают, наносят подмазочный слой (омеднение, фосфатирование и т.д.), сушат и наносят слой смазки (графит, эмульсии, минеральные масла).

*Прессование металла* используется чаще всего для цветных сплавов: можно получить прутки диаметром 5... 200 мм, трубы до 800 мм диаметром с толщиной стенок 1,5 ... 8 мм, фасонные профили. Нагретый металл из контейнера выдавливается через очко матрицы. При прессовании труб заготовка прошивается стальной иглой, конец которой проходит через очко; металл выпрессовывается между иглой и очком.

Ковка и штамповка — промежуточные операции для изготовления заготовок деталей на пневматических, гидравлических или механических прессах. Механические свойства кованных и штампованных изделий выше, чем у полученных механической обработкой, т.к. в этом случае волокна перераспределяются в соответствии с формой деталей. Штамповка может быть горячая и холодная. Объемная штамповка проводится в штампах, где течение металла ограничено поверхностями штампа. По сравнению со свободной кузнечной ковкой объемная штамповка в 50...100 раз производительнее, получается выше качество и прочность поковок, имеется возможность получения поковок сложной формы. В автомобилестроении листовой штамповкой получают до 75 % деталей, а при производстве товаров широкого потребления - до 98 %.

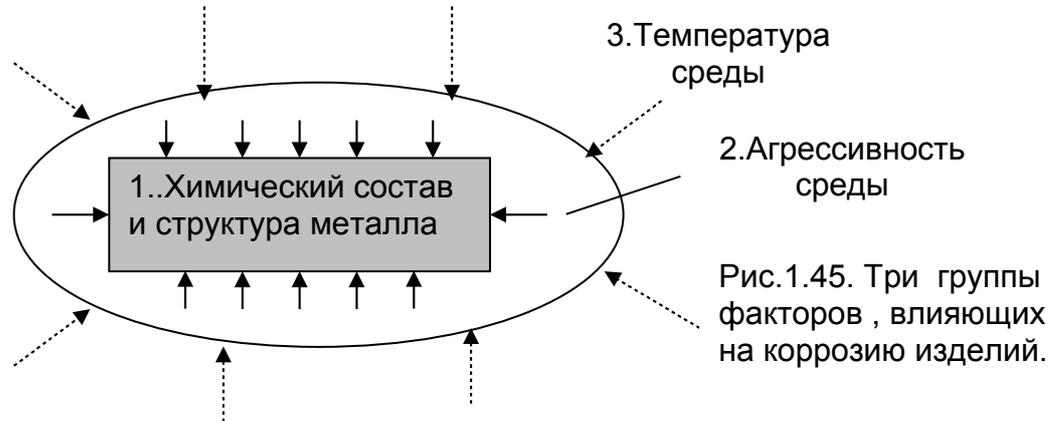
#### **1.10. Защита металлов от коррозии.**

Металлы, как и растения, животные и люди тоже «болеют». Это не только износ рабочих поверхностей и деформации (температурные и нагрузочные) деталей, но и самая опасная «болезнь» строительных и машиностроительных конструкций — коррозия металлов. Общеизвестен закон природы: из двух состояний с большей вероятностью реализуется то, которое более устойчиво (стабильно). Металлы в природе находятся в виде химических соединений с кислородом, серой и другими химическими элементами ( $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Al_2O_3$ , ...). Мы извлекаем технически чистый металл из этих окислов, далее получаем сплавы металла, из которых изготавливаем различные детали, машины и сооружения, а природа путем коррозии металлических изделий вновь безуспешно возвращает все на круги своя — к окислам и другим природным химическим соединениям.

За всю историю человечества добыто около 20 млрд тн железа, около 6 млрд тн его находится сейчас в машинах и строительных конструкциях, а 14 млрд тн уже съедено ржавчиной, т.е. потеряно для человека. На ремонт корродированных машин и строительных конструкций, на замену труб водопровода, отопления, на антикоррозийную защиту и профилактику коррозии затрачивается много времени и труда. В итоге около 30 % ежегодно производимого металла расходуется на восстановление потерь от коррозии.

Есть два вида коррозии : химическая и электрохимическая.

Процесс коррозии определяется тремя видами факторов (рис.1.45): химической природой и структурой металла или сплава, из которого изготовлена деталь ; содержанием агрессивных веществ в окружающей среде и температурой среды.



Химическая коррозия — это разрушение металлов под воздействием высокотемпературных газов или жидкостей (без электролиза). При высоких температурах образуется нагар на клапанах и головках блока цилиндров, на свечах зажигания, на поршнях (верхней части юбки и поршневых канавках), на компрессионных кольцах, на арматуре печей и на тепло- и электронагревателях. Сначала на поверхностях деталей при температурах до 150 °С образуются лаковые покрытия, далее при более высоких температурах появляется нагар.

Электрохимическая коррозия проходит в жидких средах, проводящих электрический ток; в процессе ее происходит электролитическое разрушение металла.

Одним из условий для возникновения электрохимической коррозии является наличие воды. Вода есть в атмосфере, в грунте, на поверхностях деталей и конструкций. В почве, воздухе и рабочих средах также имеются окислы и кристаллы солей, сернистые и выхлопные газы и, в итоге, образуются кислоты — это второе условие появления коррозии.

Рассмотрим процесс коррозии (рис.1.46) на примере наличия в изделии разных металлов: меди и цинка. В кислой среде атомы цинка оставляют свои электроны на аноде и превращаются в положительно заряженные ионы цинка и переходят в жидкость, а на катоде (пластине меди) анионы водорода получают электроны, поэтому на катоде будут выделяться атомы водорода из раствора.

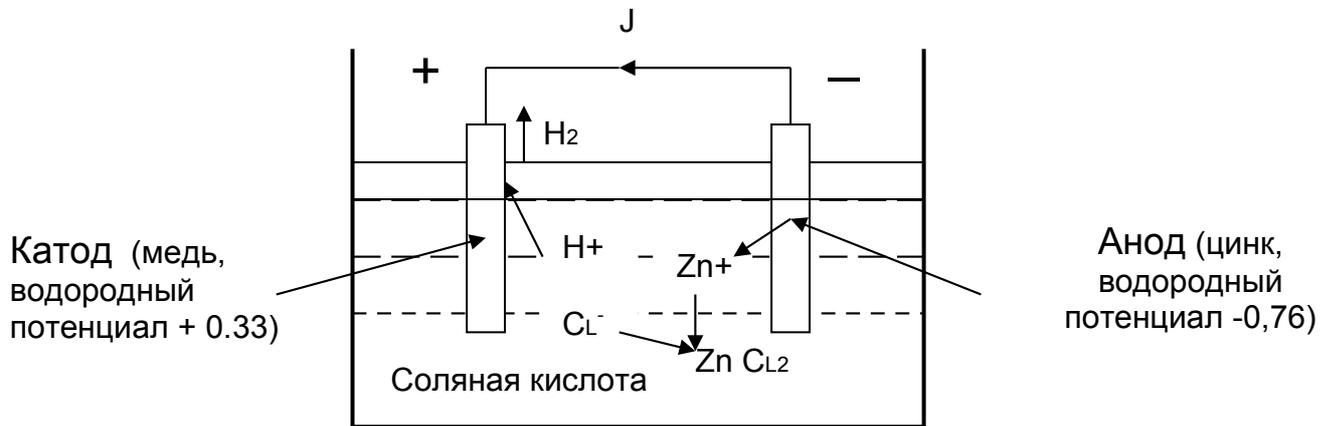


Рис.1.46. Схема процесса электрохимической коррозии.

Исходя из вышеизложенного, для возникновения процесса электрохимической коррозии необходимы *три условия*:

- наличие воды;
- наличие солей, кислот;
- наличие разных металлов, т. е. металлов или отдельных его фаз с отличающимся водородным потенциалом.

Гальванические пары образуются не только между различными материалами, но и между микроскопическими малыми различными кристаллами сплава. Иногда субмикроскопические гальванические пары могут происходить по границам зерен. Например, высокохромистые стали подвержены межкристаллической коррозии. Фазы с хромом имеют положительный потенциал, а обедненные хромом — отрицательный (Fe). Внешне никаких изменений о сплаве не происходит, а свойства его ухудшаются, что очень опасно при работе изделия.

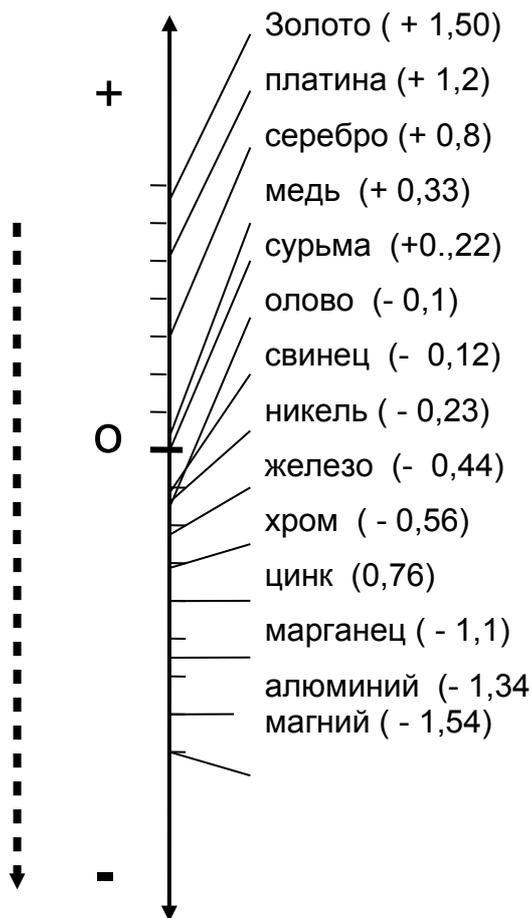


Рис. 1.47. Водородные потенциалы металлов.

Атомы металлов при контакте с электролитом переходят в раствор в виде ионов. Переход атомов металлов в ионы, т.е. растворение металлов определяется величиной нормального электродного потенциала (рис. 1.47), который представляет собой величину напряжения (В) электрического тока, которое нужно приложить к границе раздела фаз металл — жидкость, чтобы воспрепятствовать переходу иона металла в раствор. Чем больше отрицательное значение потенциала ( - ), тем металл больше стремится к растворению в электролитах, тем интенсивнее идет коррозия.

Металлы с отрицательным водородным потенциалом ( - ) вытесняют водород из кислот, а металлы с положительным потенциалом ( + ) -вытесняются водородом из раствора.

В случае толстой плотной пленки возможна стабилизация коррозии. Такие пленки образуются на алюминии, свинце, олове, никеле и хrome. Они не пропускают газы к поверхности детали. На железе тоже создаются плотные пленки, но они растрескиваются и поэтому отслаиваются от железа.

Техническое железо ржавеет при обычных температурах, при более же высоких температурах (250... 300 °С) пленка ржавчины образуется прямо на глазах, а при 600 °С поверхность железа очень быстро покрывается толстым слоем окалины. Из-за того, что пленка пористая, газы хорошо проникают к поверхности металла и скорость коррозии не снижается, т.к. нет защитного эффекта от пленки.

Коррозионные разрушения (рис.1.48.) могут быть сплошными (равномерными и неравномерными), местными (пятнами и точками) и межкристаллическими.

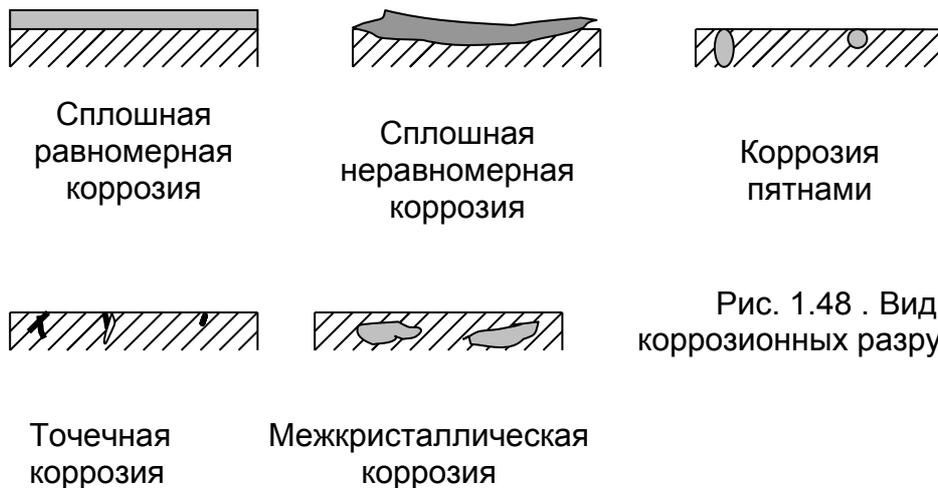


Рис. 1.48 . Виды коррозионных разрушений

Из рисунка 1.49 видно, что уменьшение коррозии возможно при реализации следующих мероприятий :

- подбора материала детали ;
- снижение агрессивности среды ;
- создание защитных пленок и управление процессом коррозии.

Методы защиты от коррозии (рис. 1.49) определяются необходимостью нейтрализации факторов (рис. 1.45), определяющих интенсивность коррозии: подбор антикоррозионных материалов; снижение агрессивности и температуры среды; отделение поверхности детали от агрессивной среды; целевое управление процессом коррозии.

1.Подбор материала детали выполняется исходя из водородного потенциала металла. Так из рис. 1. 46 видно, что изделия из золота , платины и серебра более коррозийностойкие, чем изделия из железа, цинка и алюминия, но эти материалы дорогие, поэтому находят ограниченное применение в быту и технике. Химически чистые металлы имеют более высокие антикоррозионные свойства, чем сплавы , так «демидовское железо», выплавляемое на древесном угле из хороших

руд, практически не ржавеет, а современный листовой прокат нельзя использовать без защитных покрытий. В противовес использованию химически чистых металлов добавки некоторых легирующих элементов, в основном в больших количествах Cr и Ni, позволяют получить так называемые нержавеющие стали (12Х18Н10Т, 12Х18Н9, 08Х22Н6Т,...).

Чугуны коррозионно более стойки чем стали, а у последних скорость коррозии увеличивается с ростом содержания углерода. Алюминий и его сплавы имеют очень низкий водородный потенциал, но на поверхности детали относительно быстро образуются прочные и стойкие защитные пленки, поэтому алюминиевые детали не требуют дополнительной защиты (покраски и др.) от коррозии.

2. Снижение агрессивности среды выполняется путем добавки

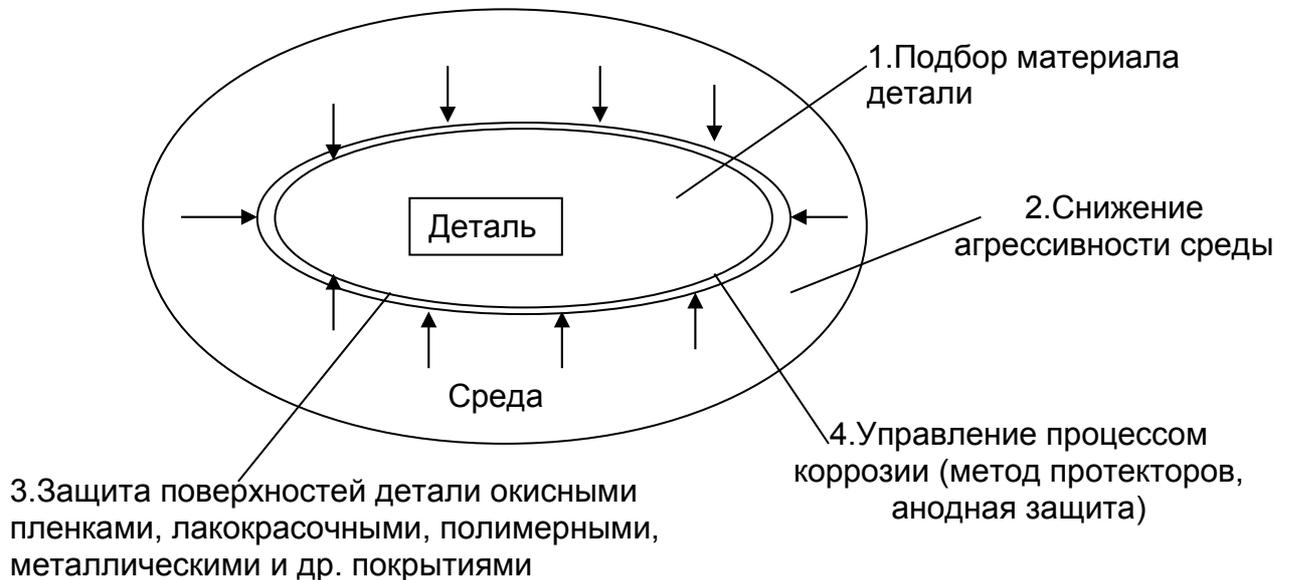


Рис. 1.49. Способы защиты деталей от коррозии.

антиокислительных присадок в смазочное масло и топливо и в системы охлаждения. Для систем отопления проводится предварительная подготовка воды (удаление солей и железа). Немаловажным фактором является снижение температуры теплоносителя, например, для систем отопления со 100...110 °С до 60...70 °С, что, естественно, приведет не только к снижению тепловых потерь, но и к уменьшению коррозии элементов системы.

3. Покрытия поверхностей деталей могут выполнять следующие задачи: отделение материала детали от агрессивной среды; замыкание гальванической электрической цепи не через агрессивную среду, а через металлическое покрытие, и, в результате, прекращение электрохимической коррозии; «жертвование»

материала покрытия ( в основном Zn) на коррозионное разрушение и тем самым снижение коррозии основного материала детали.

Покрyтия наносятся на поверхности деталей (хром и никель), посуду (эмаль), жeсть и трубы (цинк), консервные банки и днища (лужение кузовов) легковых автомобилей, например, автомобилей М20 «Победа». В настоящее время для изготовления днищ кузовов используются неметаллические и биметаллические покрытия.

Металл наносят с помощью электрогальванических процессов (осаждение никеля, хрома, цинка) или металлизации. Гальваническое покрытие обеспечивает хорошее сцепление с основным металлом, но требует технологически сложной подготовки поверхностей и высокой культуры производства.

4. Метод защиты металлов протекторами (рис. 1.50) заключается в том, что к трубопроводу подключают через кабель пластины металла, имеющего более

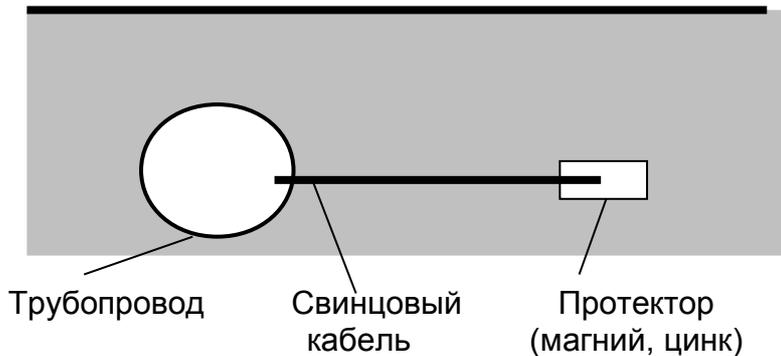


Рис. 1.50.. Схема защиты металлов от коррозии протекторами.

низкий водородный потенциал, который, естественно, растворяется и разрушается в первую очередь, защищая основное изделие от коррозии.

5. Способ катодной защиты внешним током (рис. 1.51) металлических

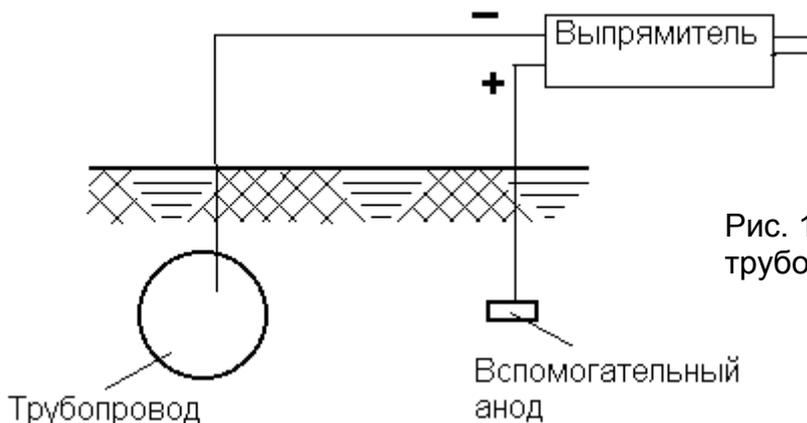


Рис. 1.51. Катодная защита трубопроводов от коррозии.

конструкций, судов и магистральных трубопроводов впервые был применен в 1910 году для защиты от коррозии подземных строительных сооружений. Этот способ отличается от метода протекторов тем, что к защищаемой детали подводится отрицательный потенциал от источника питания, а положительный - к

вспомогательному аноду. В случае «естественной» коррозии деталь «теряет» электроны, а так как здесь, наоборот, электроны подводятся к детали, то и не происходит процесса ее коррозии.

Одной из основных технологических операций защиты деталей строительных конструкций и машин от коррозии является окраска (рис. 1.52), предназначенная не только для защиты от коррозии, но и для эстетических целей.

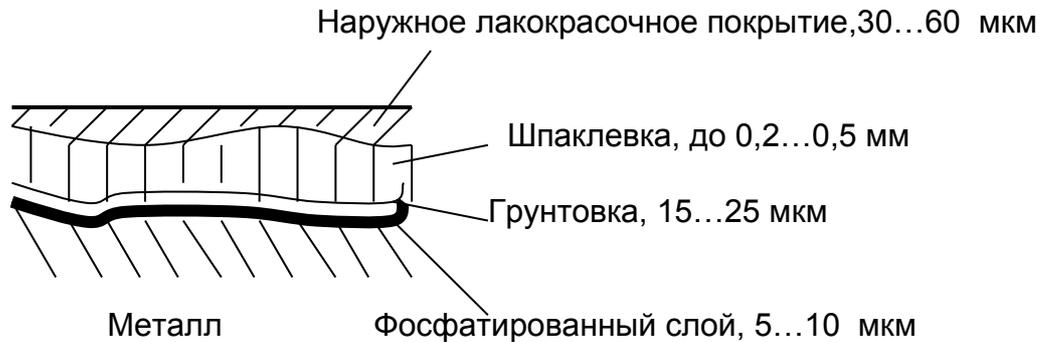


Рис. 1.52. . Схема лакокрасочного покрытия детали.

Подготовка поверхности к окраске заключается в механической правке и выравнивании поверхностей, обезжиривании поверхности перед окраской и фосфатировании. Обезжиривание выполняется растворителями, бензином или погружением узла в ванну с раствором кальцинированной (реже каустической) соды, жидкого стекла и тринатрийфосфата. После обезжиривания промывают деталь (узел) горячей водой.

Фосфатирование поверхности получается при обработке деталей фосфорной кислотой или раствором солей, или фосфатирующим грунтом. Фосфатный слой хорошо защищает поверхность от коррозии, причем в случае его повреждения и слоя краски коррозия не будет распространяться от места повреждения под неповрежденной частью.

Грунтовка необходима для обеспечения хорошей сцепляемости металла с краской или шпаклевкой и для предохранения металла от коррозии. После нанесения грунтовки краскораспылителем или кистью производится сушка покрытия при температуре 80 ... 100 °С в течение 40 минут или при 18 ... 25 °С до 48 часов.

Шпаклевание поверхности необходимо для выравнивания поверхности от рисков, царапин, дефектов сварных швов, а также для защиты металла от коррозии. Шпаклевка снижает механическую прочность покрытия, поэтому рациональна минимально необходимая их толщина. При необходимости заделки больших дефектов используются эпоксидные шпаклевки, которые можно наносить слоем до 20 мм.

Шпаклевание может быть местное и сплошное. Сначала выполняется местное шпаклевание, с помощью шпателя вручную выполняют замазку трещин, швов и раковин. Сплошное шпаклевание выполняется с помощью краскораспылителя. Просушка выполняется без подогрева в течении 30 минут. Шлифование слоя шпаклевки проводится шлифовальными шкурками вручную или шлифовальными машинками.

Наружные слои покрытия предназначены для декоративных и защитных целей. В зависимости от необходимости высококачественной декоративной покраски

или обыкновенной выбирается краска, количество и качество технологических операций.

Для окраски используются нитроэмали и синтетические эмали.

Достоинством нитроэмалей является просушка при естественной температуре в течении 10...15 минут. Всего наносится 5 ...6 слоев толщиной 8 ...10 мкм с обязательной просушкой каждого слоя. Однако нитроэмалевое покрытие имеет недостаточную стойкость к коррозии и требует сложной технологической полировки. Поверхность сначала шлифуется и покрывается растворителем, далее полируется пастами.

Синтетические эмали придают покрытию более устойчивый блеск и лучшую защиту от коррозии. Срок службы их 4 .. 5 лет. Количество слоев достаточно 2 ...3 и значительно упрощается полировка. Однако полимеризация синтетического покрытия (просушка) происходит при высокой температуре 120 ... 130° С в течение часа, что требует использования сложного оборудования.

Лакокрасочное покрытие может наноситься следующими способами :

- 1 - ручная окраска кистью;
- 2 - окраска погружением детали в ванну с краской;
- 3 - нанесение краски воздушным распылением;
- 4 - нанесение краски безвоздушным распылением;
- 5 - окраска в электростатическом поле (рис. 1.53) .

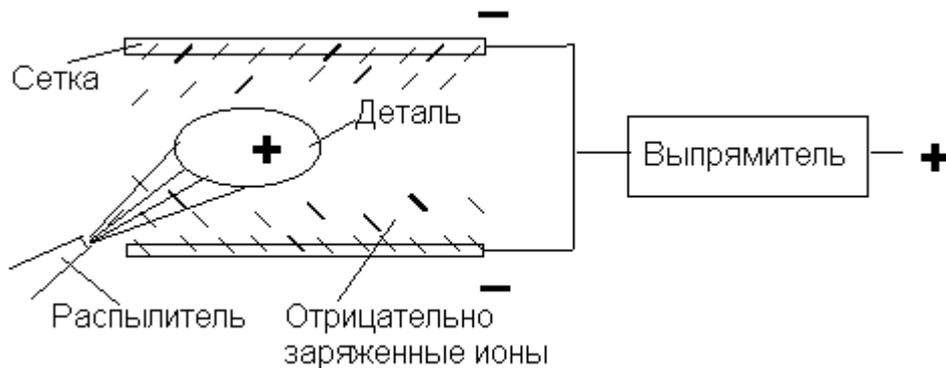


Рис. 1.53. Схема окраски детали в электростатическом поле

Воздушное распыление проводится с помощью пистолетов - распылителей в специальных камерах или помещениях, оборудованных вентиляционными установками. Краска подается под давлением сжатого воздуха или сил тяжести. Смешивание может выполняться как внутри пистолета, так и снаружи. Наилучшие результаты получаются при наружном смешивании. Недостатками воздушного распыления являются : большие потери краски (до 40 ... 50 %), взрывоопасность лакокрасочного тумана, вредность для организма. В целях экономии растворителя, который нужен в основном для снижения вязкости краски, и который улетучивается при сушке, рационально для уменьшения вязкости краски её нагревать до 60 °С. При этом толщина одного слоя увеличивается в 1,5 ... 2 раза по сравнению с окраской без подогрева, следовательно, необходимо меньше наносить слоев и поэтому увеличивается производительность окраски.

При безвоздушном распылении предварительно подогретая краска подается насосом под давлением 40...60 кгс/ см<sup>2</sup> через распылитель. При этом расход краски уменьшается 20 ... 25 % по сравнению с воздушным распылением.

Наиболее эффективной технологией является окраска в электростатическом поле (рис. 1.53). Однако необходима предварительная окраска внутренних поверхностей и глубоких впадин. Кроме того, часть краски, не получив заряда, теряется. Почти 100 % использования краски получается при электромеханическом распылении, когда отрицательный заряд высокого напряжения сообщается не промежуточной среде (воздуху), а непосредственно краске.

Сушка покрытий заключается в удалении летучих веществ для нитроэмалей, а у синтетических эмалей и масляных покрытий после удаления летучих веществ происходит окисление и полимеризация связывающих веществ. Скорость сушки определяется температурой покрытия и степенью подвижности воздуха. При неподвижном воздухе пограничный слой воздуха насыщается парами растворителя и дальнейший процесс испарения его замедляется.

Различают по способу подачи тепла конвекционную и терморadiационную сушки (рис. 1.54). В первом случае изделие обогревается горячим воздухом, при этом сначала очередь просушивается верхний слой, который замедляет дальнейшее испарения растворителя.

При терморadiационной сушке источником тепла являются невидимые

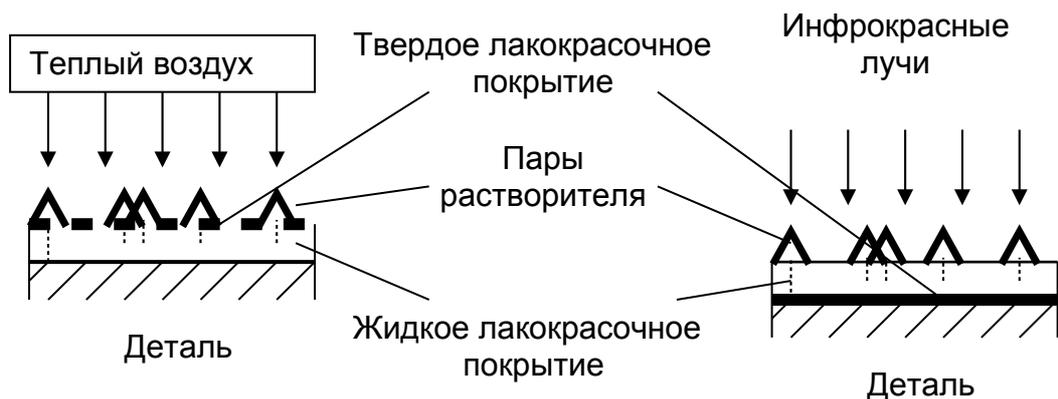


Рис. 1.54. Схема конвекционной (теплым воздухом) и терморadiационной (инфракрасными лучами) сушки лакокрасочных покрытий.

инфракрасные лучи, которые свободно проходят через слой покрытия, нагревают металл. Испарение растворителя и образования корки начинается с нижней части слоя, тем самым создаются хорошие условия для отвода паров. Процесс полимеризации происходит тоже быстрее. Терморadiационная сушка почти в два раза выполняется быстрее конвекционной сушки.

В качестве источников инфракрасного излучения применяются термоизлучатели, нагреваемые электрическим током или газом. Панели излучателей нагреваются до 400...500 °С и излучают инфрокрасные лучи с длиной волны 3...5 мкм, которые легко проходят слой краски и, поглощаясь металлом, нагревают его .

«Полезность» ржавчины. Прежде всего польза от коррозии- это возвращение на круги свои. Трубы, лист, швеллер и другой металл, зарытый в результате небрежной работы в землю, утопленный в болота и реки возвращается в свое естественное состояние- окислы (руда).

Архитектор Джон Динел в 1959 году в городе Молине создал «ржавое здание», считая что людям тошно смотреть на полированные алюминиевые фасады и человечество должно вернуться к более грубому стилю. Институт американской архитектуры присудил «ржавому» зданию золотую медаль. В Чикаго построен небоскреб «Сивин сэнтер», покрывающийся потоками ржавчины во время дождя.

Мост через реку Консумнес через несколько месяцев после постройки приобрел красивую и редкую зеленовато - коричневую окраску (подобрана такая низкоуглеродистая сталь, которая покрывалась такой пленкой в атмосферных условиях).

Есть мостовые стали, которые ржавеют 2... 4 года, а потом образуется черная и плотная пленка, крепко сцепляющаяся с металлом и надежно защищающая его от дальнейшей коррозии.

## 2. Сварка металлов.

Сварка является одним из ведущих технологических процессов *изготовления и упрочнения* деталей, изготовления строительных конструкций, трубопроводов и судов, *ремонта* деталей и конструкций. Эффективно использование технологических приемов сварки и при *резке* металлов.

Исторически сварка известна человечеству со времен использования, меди, серебра, золота и, особенно, железа, при получении которого выполнялась проковка, т.е. сваривание криц (кусочков технически чистого железа). Это и есть *первый способ сварки -Жузничная сварка металла.*

Наиболее распространена в производстве электродуговая сварка, являющаяся чисто российским изобретением. Впервые электрический дуговой разряд был выявлен петербургским профессором физики Петербургской медико-хирургической академии Петровым Василием Владимировичем в 1802 году, но

только через 80 лет (1882 г.) российский инженер Бенардос Николай Николаевич, работая со свинцовыми аккумуляторными батареями, открыл способ сварки не плавящим угольным электродом. Он освоил технологию сварки свинцовых пластин. Далее он разработал способы сварки металла в среде защитного газа и электродуговой резки металла. Бенардос Н.Н. назвал свое изобретение «Электрогефест». По греческой мифологии Гефест — бог, покровитель кузнецов, поэтому в этом названии представлено новое — электричество и старое (Гефест), представляющее первый известный способ сварки (кузнечная сварка). Через 6 лет в 1888 году инженер Славянов Николай Гаврилович разработал способ сварки плавящим электродом.

Дальнейшую работу Славянов Н. Н. и Бенардос Н. Г. выполняли вместе. Внедрение сварки в производство проходило очень интенсивно, так в России с 1890 по 1892 года было по их технологии отремонтировано с высоким качеством 1631 изделие, общим весом свыше 17 тыс. пудов, это в основном чугунные и бронзовые детали. Они даже разработали проект ремонта российского памятника литейного производства «Царь-колокола», но работа не была разрешена, и мы сейчас можем любоваться на российские нетленные символы: колокол, который не звонил, и на пушку, которая не стреляла.

Известный мостостроитель академик Патон Евгений Оскарович, предвидя огромное будущее электросварки в мостостроении и в других отраслях хозяйства, резко сменил поле своей научной деятельности и в 1929 году организовал сначала лабораторию, а позднее первый в мире институт электросварки (г. Киев). Им было разработано и предложено много новых и эффективных технологических процессов электросварки. В годы войны в короткий срок под его руководством были разработаны технология и автоматические станды для сварки под слоем флюса башен и корпусов танков, самоходных орудий, авиобомб.

В настоящее время широкое развитие получили такие новые способы сварки как: порошковыми материалами, плазменная, контактная и электрошлаковая, сварка под водой и в космосе и др., многие из которых были разработаны в Институте электросварки имени Е.О. Патона, который в последние годы возглавлял сын основателя института - академик Борис Евгеньевич Патон.

Кроме головного, в этой отрасли, института сварки имени Е.О. Патона, вопросами сварки успешно занимаются многие учебные институты (УПИ, ЧИМЭСХ, ЛГАУ и др.), институты объединения «Ремдеталь».

Преимущества использования сварки перед заклепочными и

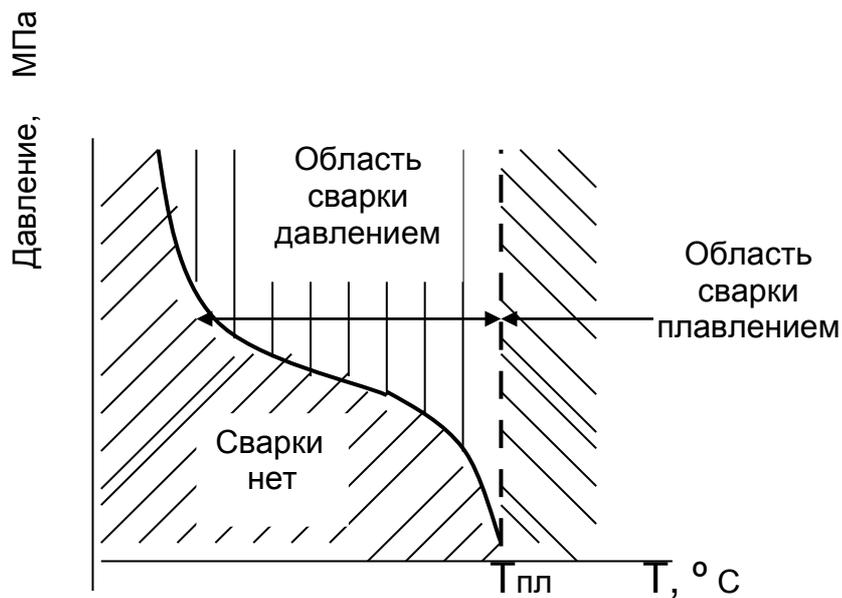


Рис. 2.1.Схемы возможных областей сварки (давлением и плавлением) в зависимости от температуры ( $T$ ) и давления ( $P$ ), реализуемых в процессе сварки.

резьбовыми соединениями деталей при изготовлении строительных конструкций следующие:

- рациональность конструкций;
- экономия металла ( до 15...20 %);
- более высокая производительность (на 15...20 %).;
- более низкая себестоимость( снижение на 20...45 %);
- высокая надежность соединения.

## 2.1. Общие вопросы сварки.

*Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения деталей местным сплавлением или пластической деформацией. Наплавка — это разновидность сварки, заключающаяся в том, что на поверхность детали*

наносят слой металла, предназначенный для восстановления размеров изношенной детали или для повышения её износостойкости.



Рис. 2.2. Классификация видов сварки.

При восстановлении деталей сваркой и наплавкой можно получить долговечность их сопоставимой или даже более высокой с долговечностью новых деталей, использовать механизацию и автоматизацию процессов.

Сварка происходит при молекулярном или атомном взаимодействии металлов (рис. 2.1), для чего необходимо расплавление или пластическая деформация деталей. Расплавление металла происходит при температурах выше  $T_{пл}$ . При сварке плавлением расплавленный металл образует сварочную ванну, при кристаллизации которой происходит соединение поверхностей.

При пластическом деформировании как предварительно нагретых так и холодных металлов разрушаются окисные пленки и поверхности сближаются до расстояний возникновения межатомных связей и поэтому происходит прочное соединение деталей. Из рис. 2.1. видно, что при увеличении температуры нагрева металла требуется меньшие усилия для сварки давлением.

В настоящее время известны сотни и сотни различных способов сварки в зависимости от вида энергии, особенностей технологического процесса, защиты от

воздуха и др. Самая приближенная классификация видов сварки представлена на рис 2.2. Расплавление металла происходит за счет энергии дуги при электродуговой сварке и электрического тока, проходящего через расплавленный флюс при электрошлаковой сварке, бомбардировки в вакууме свариваемых поверхностей электронами, энергии от горения газов при газовой сварке, энергии от горения порошковой смеси при термитной сварке и расплавлением кромок деталей перегретым расплавленным присадочным металлом при литейной сварке.

Виды сварных соединений различаются по взаимному положению деталей и по форме разделки сварного шва, а так же по положению сварного шва в пространстве (рис. 2.3).

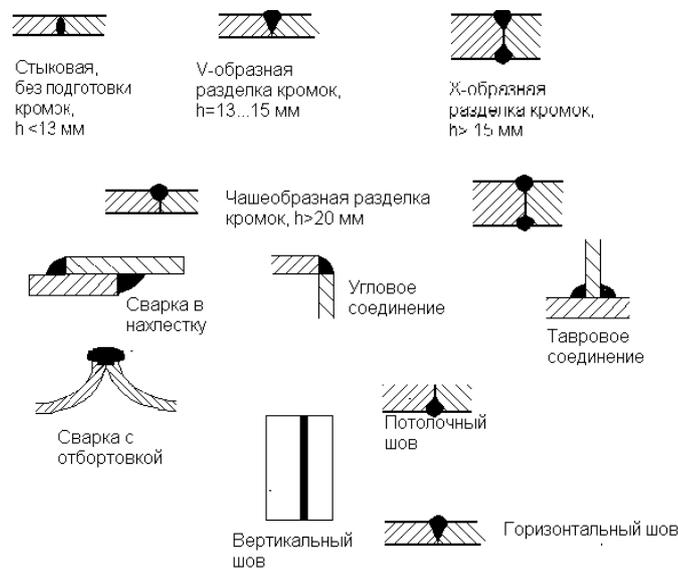


Рис. 2.3. Виды сварных соединений (  $h$ -толщина свариваемых деталей).

## 2.2. Тепловые процессы при сварке.

Энергия теплового источника (электрической дуги, газового пламени и т.д.) расходуется на нагрев металла детали, на расплавление электрода или присадочного материала, на плавление защитного флюса (обмазки электрода) и на тепловые потери. Распределение температуры в свариваемом металле зависит от мощности теплоисточника, физических свойств металла (теплоемкость, температура плавления и др.), размеров конструкции, скорости перемещения и т.д.

На рис.2.4. показаны изотермы — овалы, сгущающиеся впереди движущегося при сварке источника тепла (электрической дуги, пламени горелки,...). Изотерма 1600°C это температура плавления стали, она определяет ориентировочный размер сварочной ванны. Изотерма 1000°C

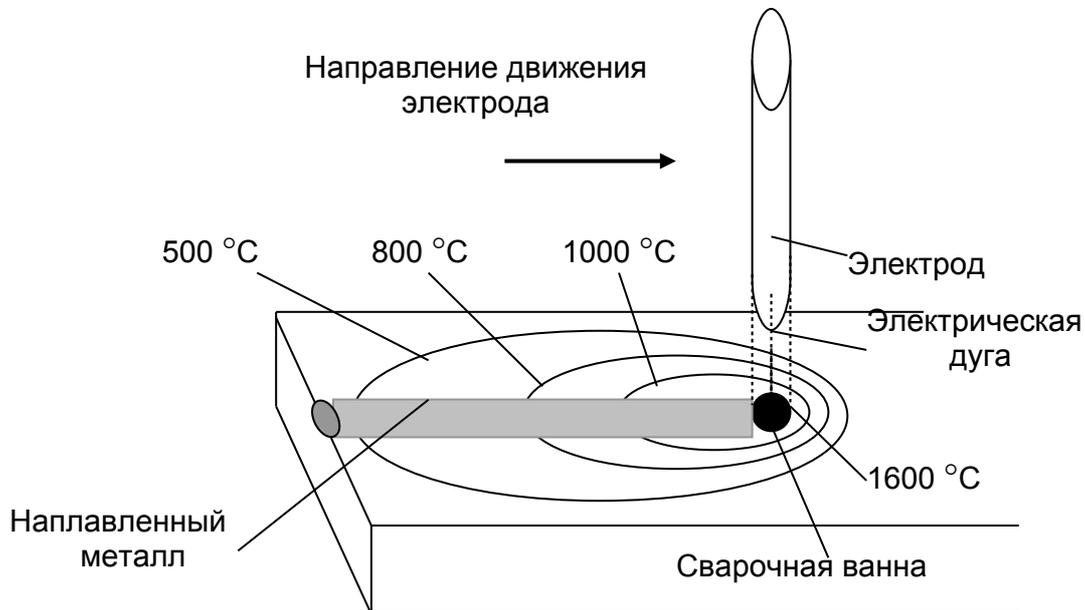


Рис. 2.4. Схема изотерм при сварке.

указывает на зону перегрева металла, 800 °C изотерма показывает зону закалочных явлений, а 500°C - зону отпуска.

Отличия сварочной ванны от металлургической ванны следующие:

- малый объем и кратковременность существования ванны ,поэтому плохо перемешивается металл, возможны поры (не успевают выделиться газы ) и шлаковые включения в сварном шве;

- значительная поверхность контакта расплавленного металла с атмосферой, поэтому происходит выгорание «полезных» кремния и магния и образование окислов железа (наличие кислорода в стали приводит к снижению её прочности , пластичности и коррозионной стойкости и сообщает стали красноломкость) и насыщение сварного шва азотом (увеличивается хрупкость ).

Сварной шов образуется за счет расплавления металла электрода и частично основного металла (рис. 2. 5.). В зоне сплавления кристаллизуются зерна, принадлежащие как основному, так и присадочному металлу. В зоне термического влияния из-за быстрого нагрева и охлаждения металла происходят структурные изменения металла.

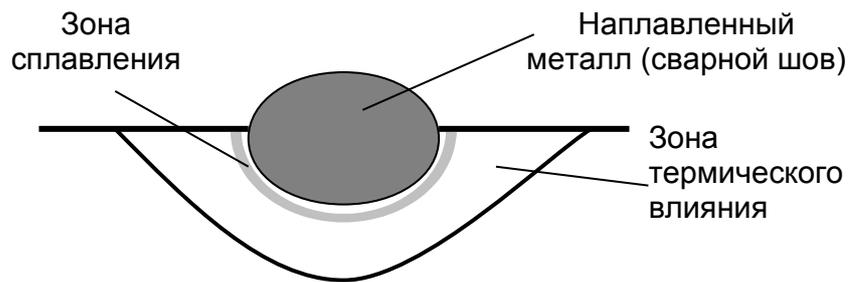


Рис. 2.5. Зоны сварного шва.

Свойства сварного соединения определяются характером тепловых воздействий на металл в околошовных зонах. Следовательно, может быть прочный, пластичный сварочный шов, но из-за термических воздействий на деталь качество сварки в целом низкое (рис 2.6) .

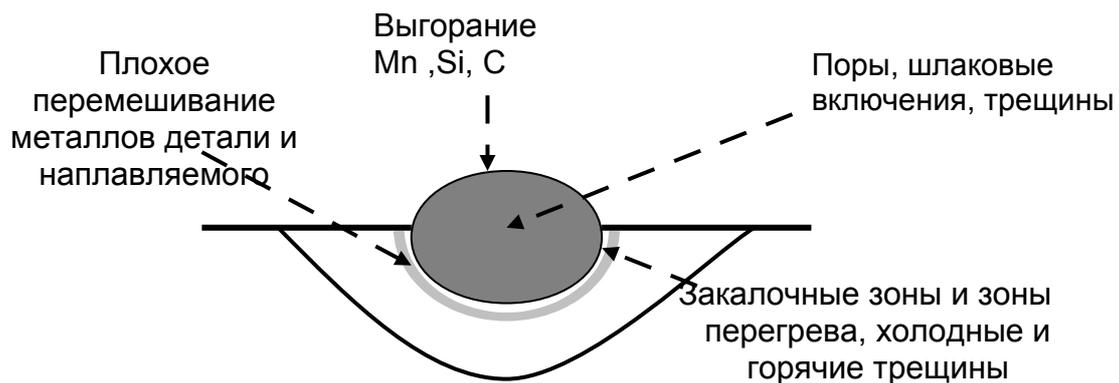


Рис. 2.6. Возможные дефекты в сварном шве.

Величина зоны термического влияния составляет при ручной электродуговой сварке для обычного электрода 2...2,5 мм, а для электродов с повышенной толщиной обмазки — 4...10 мм. При газовой сварке зона термического влияния существенно возрастает (до 20...25 мм).

В зоне термического влияния могут быть участки :

- старения ( 200... 300 °С );
- отпуска ( 250...650 °С );
- неполной перекристаллизации ( 700...870 °С );
- нормализации ( 840...1000 °С );
- перегрева ( 1000...1250 °С );

-околошовный участок , примыкающий к линии сплавления (от 1250 °С до 1600°С).

При сварке возможны два предельных случая :

- резкая закалка при быстром охлаждении околошовного участка;
- перегрев при медленном охлаждении и образование крупных зерен

аустенита.

### 2.3. Свариваемость металлов.

Свариваемость — комплексная технологическая характеристика, отражающая реакцию свариваемых материалов на технологический процесс сварки, и возможность получения сварных соединений, удовлетворяющих условиям эксплуатации.

Три группы факторов, определяющих свариваемость :

- 1.Химический состав и структура металла, наличие примесей, степень раскисления, предшествующие операции изготовления (ковка, прокатка, термообработка) деталей.
- 2.Сложность формы и жесткость конструкции, масса и толщина металла, последовательность выполнения сварных швов.
- 3.Технологический фактор : вид сварки и сварочные материалы, режимы термических воздействий на основной материал.

Степень свариваемости это качественная или количественная характеристика ответа на вопросы: «Как изменяются свойства металла при сварке?», «Выполнимо ли сварное соединение?».

Основной характеристикой свариваемости является отсутствие холодных или горячих трещин при сварке.

Трещины, образующиеся при температурах выше 800...900 °С называются горячими, а при температурах ниже 200...300°С — холодными. Холодные трещины образуются под влиянием трех факторов :закалочных явлений, присутствия атомов водорода и остаточными растягивающими напряжениями.

Чувствительность сварного соединения к образованиям холодных трещин оценивают эквивалентным содержанием углерода в детали:

$$С_{эkv} = C + Mn / 6 + (Cr + V + Mo) / 5 + (Ni + Cu) / 15.$$

При  $С_{эkv} < 0,45$  сталь сваривается без холодных трещин., а при  $С_{эkv} > 0,45$  — стали склонны к образованию холодных трещин. В этом случае необходим предварительный подогрев свариваемого изделия до температуры :

$$T = 350 (C_{\text{общ}} - 0,25)^{1/2},$$

где  $S_{общ}$  — общий эквивалент углерода, зависящий от  $S_{экв}$  и толщины  $h$  свариваемых деталей:

$$S_{общ} = S_{экв} ( 1 + 0,005 h ) .$$

Пример: Определить возможность сварки деталей толщиной 5 мм из стали 40ХН.

Находим по содержанию химических элементов в этой стали  $S_{экв}$  :

$$S_{экв} = 0,4 + 1/5 + 1/15 = 0,67 > 0,45 .$$

Следовательно, необходимо нагревать детали перед сваркой. С учетом поправки на толщину детали получаем значение  $S_{общ}$ :

$$S_{общ} = 0,67 ( 1 + 0,005 \times 5 ) = 0,69 .$$

Далее определяем температуру, до которой деталь нужно нагреть перед сваркой:

$$T = 350 ( 0,67 - 0,25 )^{1/2} = 232 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Чувствительность сварного соединения НСS к образованию горячих трещин находится по формуле:

$$HCS = C ( S + P + Si/25 + Ni/100 ) 103 .$$

$$3Mn + Cr + Mo + V$$

При  $HCS < 4$  горячие трещины не образуются.

Для высокопрочных сталей коэффициент НСS должен быть менее 1,6...2.

#### 2.4. Деформации при сварке.

Деформации деталей конструкции при сварке происходят вследствие образования внутренних напряжений, причинами которых являются ( рис.2.7.):

1. Температурные деформации из-за местного нагрева изделия ;
2. Усадка наплавленного металла;
3. Фазовые превращения, происходящие в металле при охлаждении.

В результате местного нагрева при сварке происходит значительное местное расширение металла, в то время как остальная часть изделия остается в холодном состоянии. Это приводит к образованию внутренних напряжений и к изгибам элементов конструкции.

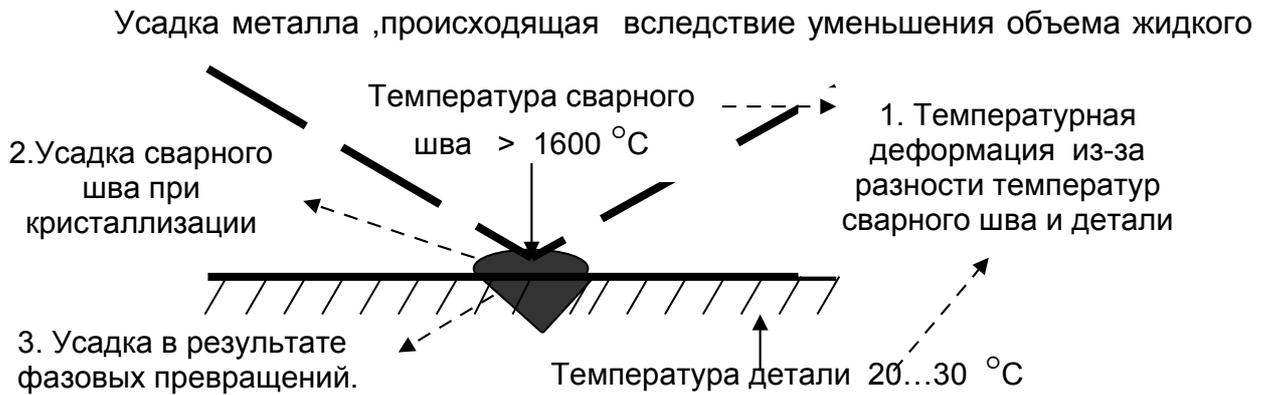


Рис. 2.7. Причины деформаций деталей при сварке.

металла при затвердевании, является второй по значимости причиной появления внутренних напряжений.

Фазовые превращения при охлаждении нагретого при сварке металла также сопровождаются относительно небольшим изменением объема металла. Так, для сталей переход  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо вызывает изменение объема примерно на 1 %, это (третья причина) также приводит к образованию внутренних напряжений.

Деформации изделия при сварке (рис. 2.8) могут быть уменьшены

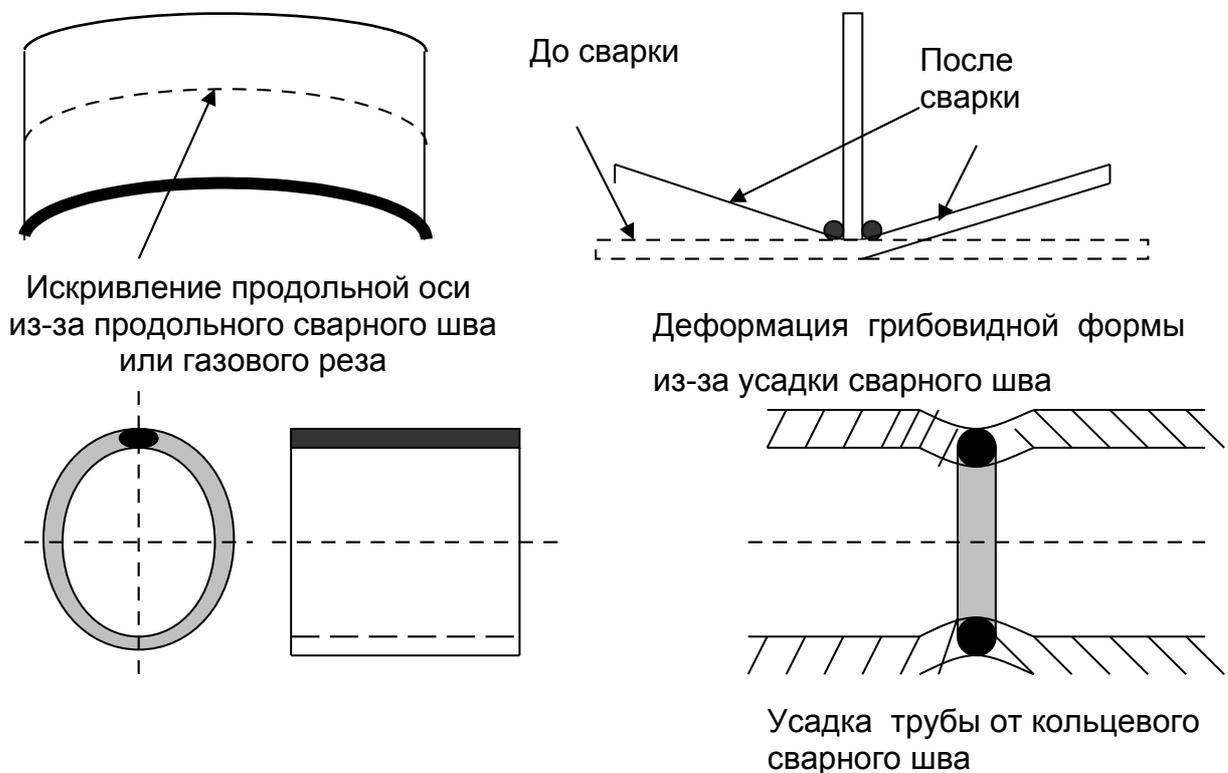


Рис. 2. 8.. Примеры деформаций деталей при сварке и резке. правильным выбором вида сварки и технологии её осуществления. Сварка, при которой изделие получает сосредоточенный нагрев, например, электродуговая

сварка, вызывает коробления меньше, чем сварка, при которой нагревается значительный участок детали, например, сварка газовым пламенем. Деформации при сварке плавлением больше, чем при сварке давлением.

Некоторое уменьшение коробления изделия достигается отводом тепла со свариваемого участка подкладыванием медной пластинки с обратной стороны шва, прикладыванием около шва асбеста, смоченного водой и т.п.

Коробление можно уменьшить и путем уравнивания образовавшихся деформаций. При этом способе места соединения деталей разбивают на участки, сварка которых ведется в таком порядке, чтобы деформации, получаемые при сварке на отдельных участках, были равны по величине и противоположны по направлению. Например, при сварке двутавровой балки из трех частей можно применять очередность сварки отдельных участков, показанную на

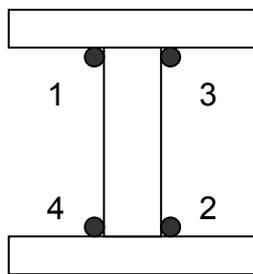


Рис. 2.9. Снижение деформаций изделий изменением порядка сварки.

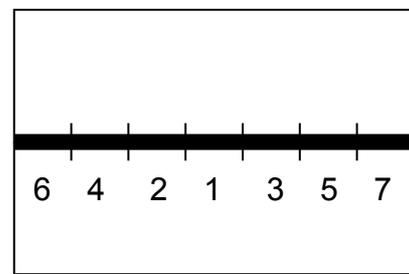


Рис. 2.10. Обратнo-ступенчатая сварка

рисунке 2.9.

Значительное уменьшение деформации достигается способом «обратнo-ступенчатой» сварки. При этом способе кромки деталей, подлежащие сварке, делят на части, которые сваривают в последовательности, показанной на рисунке 2.10. Коробление изделия в данном случае получается значительно меньше, т.к. деформации коротких швов не в состоянии вызывать значительную деформацию всего изделия.

Уменьшить коробление свариваемых изделий можно также способом «обратных деформаций». Он заключается в том, что соединяемые детали предварительно отгибают в сторону, обратную сварочным деформациям (рис. 2.11). В процессе сварки они принимают требуемую, или очень близкую к требуемой, форму.

Широко применяется также способ жесткого закрепления свариваемых деталей при помощи специального приспособления или путем прихватки, т.е. предварительной сварки кромок в нескольких точках по длине сварки.

Полностью избежать деформаций при сварке не удастся, но уменьшить

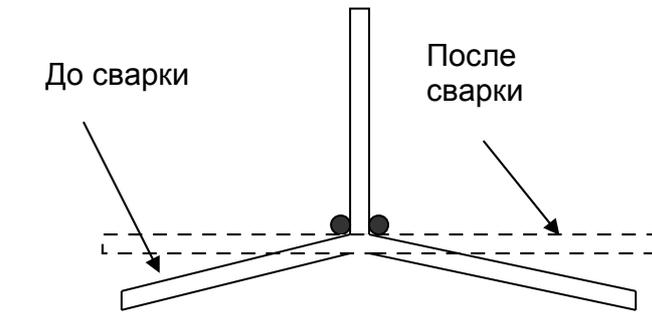


Рис. 2. 11. Обратный изгиб деталей перед сваркой.

их до приемлемых значений можно за счет использования следующих конструкторских и технологических мероприятий:

- рациональной конструкции сварного узла;
- припуска на усадку шва по размерам и форме изделия;
- рациональной сборки и подготовки к сварке;
- выбора наиболее рационального способа сварки;
- предварительного, сопутствующего и последующего подогрева изделия;
- проковки зоны сварного шва (в горячем состоянии или после остывания);
- механической правки;
- термической правки;
- общей термообработки сварного изделия.

На 85 ...90% остаточные напряжения при сварке снижаются при высоком отпуске сварных конструкций (нагрев до 550... 680 °С и охлаждение на воздухе). При местном отпуске нагревается часть конструкции около сварного соединения; после остывания ее остаточные напряжения останутся, но будут меньше по величине. Иногда проводят поэлементный отпуск отдельных сборочных элементов конструкции, а после этого окончательная сборка конструкции.

Снижение деформаций происходит при проковке металла после сварки по горячему металлу или после полного остывания детали.

Наиболее эффективными являются конструкторские и технологические мероприятия до сварки: рациональное конструирование изделия, обоснование минимально допустимых размеров швов, выбор способов сварки с наименьшими погонными энергиями, предотвращение одностороннего расположения сварных

швов, использование соединений с отбортовкой кромок вместо нахлесточных или стыковых соединений, выбор рациональной последовательности сварки.

Газовым пламенем или другими способами после сварки иногда проводят местный нагрев тех зон, последующая усадка которых также уменьшает деформации изделия.

## 2.5. Основы электродуговой сварки и наплавки.

Для возбуждения дуги используются чаще всего плавящиеся металлические и реже неплавящиеся (угольные и вольфрамовые) электроды (рис. 2.12). В первом случае сварной шов образуется за счет расплавления электрода, а во втором случае в дугу вводится присадочный металлический пруток, который плавится и заполняет сварной шов.

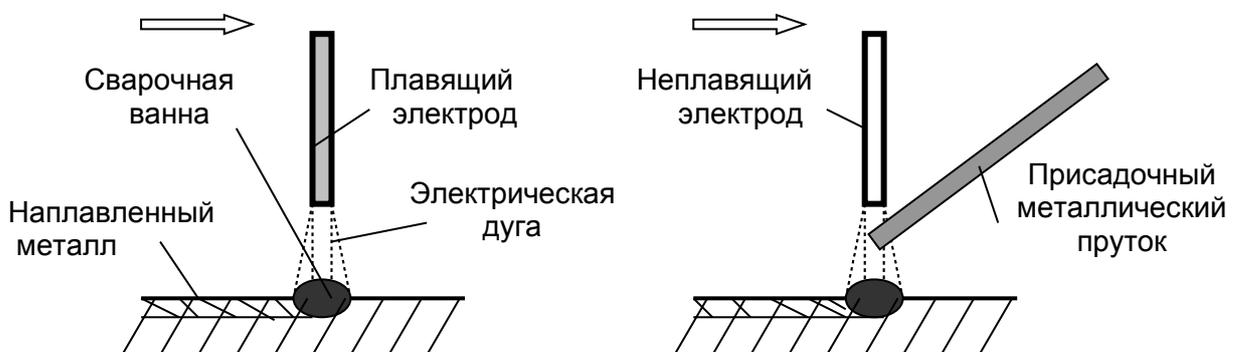


Рис. 2. 12. Схема наплавки плавящим и неплавящим электродом.

Сварка плавящимися электродами выполняется как на переменном, так и на постоянном токе, а неплавящиеся электроды применяются только в специфических случаях (на постоянном токе для угольных электродов и на постоянном и переменном токе для вольфрамовых электродов). Следует иметь в виду, что сварка на переменном токе технологически проще выполняема и почти в два раза экономичнее сварки на постоянном токе, но при сварке на постоянном токе более стабильно горит дуга.

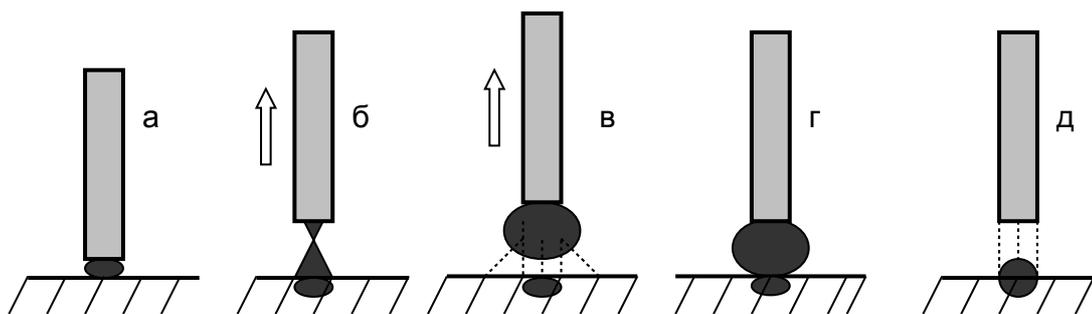


Рис.2 .13. Схема переноса металла при электродуговой сварке.

Для возникновения дугового разряда (рис 2.13.) электродом касаются детали, при этом происходит расплавление поверхности и при медленном отводе электрода жидкий металл растягивается, образуя металлический мостик, который далее разрывается и последующий разряд электричества происходит в ионизированной газообразной среде. Ионизация газа выполняется электронами, испускаемыми с поверхности электрода.

После короткого замыкания (а) происходит плавление электрода (а, б), вследствие чего растёт капля расплавленного металла (в), которая далее касается ванночки и происходит короткое замыкание (г) при котором резко увеличивается ток, возникает большая разрывная сила, отрывающая каплю от электрода, т.е. происходит разрыв мостика расплавленного металла (д) и процесс вновь повторяется. Дальнейший перенос расплавленного металла выполняется как при коротком замыкании дугового промежутка так и без замыкания.

Частота замыканий зависит от плотности тока  $J_n / F_э$  (удельной тепловой загрузки) на электроде. При больших плотностях тока происходит мелкокапельный перенос без коротких замыканий.

Стабильность горения дуги зависит от постоянства длины дуги (2... 4 мм), которое при сварке поддерживается постепенным опусканием электрода. Ориентировочно длина дуги должна быть равна диаметру электрода. Короткая дуга обеспечивает лучшее качество шва, т.к. расплавленный металл меньше подвержен воздействию окружающей среды (окислению и азотированию). При длинной дуге разбрызгивается металл и не обеспечивается достаточного проплавления основного металла. Устойчивость дуги также определяется величиной напряжения и силы тока, так для ручной сварки наилучшая устойчивость дуги будет при напряжении 18... 20 В и при плотности тока 18...20 А/ мм<sup>2</sup>. Устойчивость процесса плавки возрастает при увеличении индуктивности сварочной цепи.

Производительность сварки определяется по формуле :

$$Q_n = K_n J_n \tau ,$$

где  $Q_n$  — количество наплавленного металла, г.;

$K_n$  — коэффициент наплавки, г/А час (  $K_n = 7 \dots 12$  г/ А час для ручной электродуговой сварки,  $K_n = 15 \dots 20$  г/ А для наплавки под слоем флюса) ;

$J_n$  — сила тока наплавки, А;

$\tau$  — время горения дуги, час.

Скорость наплавки тоже характеризует производительность наплавки и определяется по формуле :

$$V_n = K_n J_n / F_n \gamma ,$$

где  $V_n$  — скорость наплавки, см/час;

$F_n$  — площадь поперечного сечения сварного шва, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  — плотность металла шва, г/ см<sup>3</sup>.

Объем наплавленного металла в единицу времени  $F_n V_n$  равняется объему расплавленного  $F_{\text{э}} V_{\text{э}}$  металла (рис.2.14):

$$F_n V_n = F_{\text{э}} V_{\text{э}} ,$$

отсюда с учетом потерь металла на разбрызгивание площадь сечения сварного шва  $F_n$  зависит от скорости подачи  $V_{\text{э}}$  и диаметра  $d_{\text{э}}$  электрода (сварочной проволоки) и от скорости наплавки  $V_n$  :

$$F_n = F_{\text{э}} ( 1 - \psi ) V_{\text{э}} / V_n ,$$

где  $V_{\text{э}}$  — скорость плавления (подачи) электрода ;

$\psi$  -коэффициент потерь металла в виде брызг и паров (  $\psi = 0 \dots 0,2$ ).

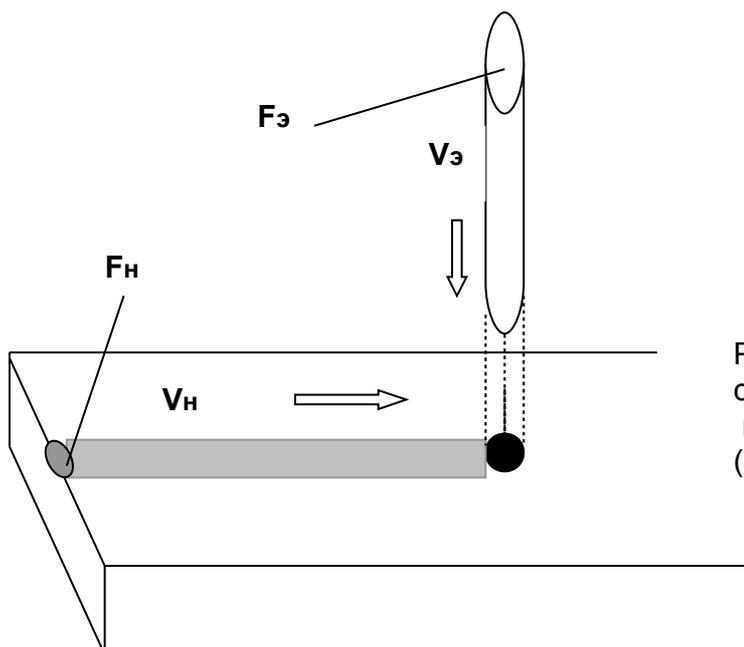


Рис. 2. 14. Взаимосвязь скоростей наплавки  $V_n$  и подачи  $V_{\text{э}}$  электрода (сварочной проволоки).

На форму шва оказывают влияние напряжение дуги, скорость наплавки, диаметр и наклон электрода. Ширина сварного шва увеличивается с ростом напряжения дуги, с уменьшением скорости наплавки и увеличением диаметра электрода. Причем в последних двух случаях возрастает и общее сечение шва.

Металл при сварке плавится при высоких температурах, а под её воздействием в зоне сварки происходит частичный распад молекул кислорода, азота и водорода на атомы; химическая активность этих элементов повышается и происходит изменение состава металла. Из-за образования кислородом окислов выгорают углерод, марганец и другие элементы, снижается прочность и износостойкость детали. Азот приводит к образованию нитридов, которые увеличивают твердость, но уменьшают пластичность металла и способствуют ускоренному старению металла шва. Из-за присутствия водорода образуются газовые пузырьки в металле и трещины. Для устранения этих негативных явлений необходимо создавать защитную среду из газов и шлака.

В зависимости от рода защиты расплавленного металла от вредного воздействия воздуха различают следующие виды сварки и наплавки :

1. Электродом без покрытия или только со стабилизирующим покрытием.
2. Электродом со стабилизирующим и защитным покрытием.
3. Порошковыми электродами.
4. Под слоем флюса.
5. В среде защитных газов.
6. В среде охлаждающей жидкости.
7. В комбинированной среде.

Первые три вида используются в основном при ручной сварке и наплавке, а остальные — при механизированной.

## **2.6. Ручная электродуговая сварка и наплавка.**

Этим способом изготавливается большая номенклатура деталей, особенно крупногабаритных (базисных), и строительных конструкций, а также устраняются у них эксплуатационные дефекты (трещины, обломы, износы).

Качество наплавки во многом определяется материалом электрода и покрытия. Электроды разделяются на группы в зависимости от назначения и механических свойств наплавленного металла :

1. Электроды для сварки конструкционных сталей (УОНИ 13/55, ОМА-2, ОК-46.00, Вн-01-00, ...).

2. Электроды для сварки высоколегированных сталей ( ОЗН-350, ОЗН-300,..).
3. Электроды для наплавки износостойких покрытий ( Т - 590, ЦН-5,...)
4. Электроды для сварки чугуна (МНЦ - 1, ОМИ - 1, ЦЧ – 4, ПАНЧ-11).
5. Электроды для сварки алюминиевых сплавов (ОЗА - 1, А - 2, Ал - 2, ...).

Электроды первых трех групп чаще всего изготавливаются из малоуглеродистой сварочной проволоки Св — 08 , Св — 10 (цифра показывает содержание углерода в сотых долях %.).

Покрытия электродов могут быть двух видов :

- 1 — стабилизирующее, способствующее устойчивому горению дуги ;
- 2 — защитное, предохраняющее расплавленный слой от кислорода и

азота

воздуха и имеющее раскисляющие, легирующие и другие элементы.

Стабилизирующее покрытие состоит из веществ (калий, кальций и др.), атомы которых легко ионизируются и тем самым облегчается возбуждение и горение дуги. Сухой воздух не является проводником электрического тока, но если в нем имеются ионизированные атомы, то электрический ток проходит. Простейшую стабилизирующую обмазку электродов изготавливали из 80.. 85 частей мела и 15... 20 частей жидкого стекла. Однако это покрытие не защищает металл от воздействия воздуха ; сварка выполняется , но шов получается хрупким.

Защитное покрытие является более сложным по составу и включает в себя различные вещества :

1. Связывающие (жидкое стекло, ...);
2. Стабилизирующие горение дуги (сода, поташ,....);
3. Газообразующие (крахмал, пищевая мука, целлюлоза, уголь,...);
4. Шлакообразующие (полевой шпат, плавиковый шпат, кварц,.. .);
4. Раскисляющие и легирующие (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, феррохром,...)

Покрытие наносится на электрод слоем 0,5... 2,5 мм.

Электроды поставляются потребителям в упаковке, на которой наносится условное обозначение (рис. 2.15), включающее основные технологические сведения об электродах. Первые в мире сварочные электроды начали изготавливать в 1890 году на Пермских пушечных заводах, начальником

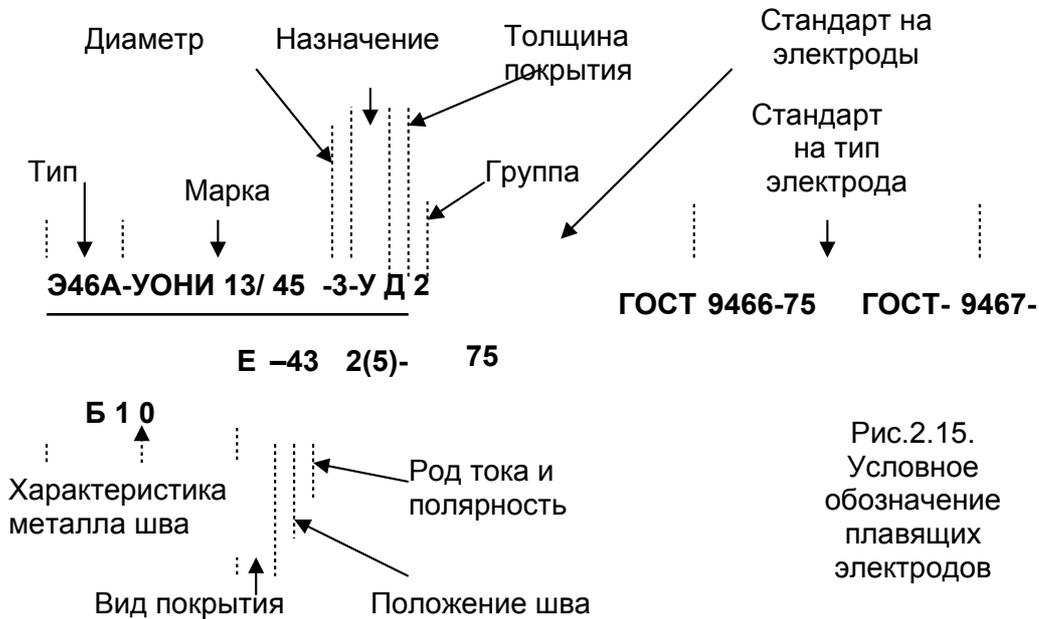


Рис.2.15.  
Условное обозначение плавящихся электродов

которых был изобретатель плавящихся электродов Славянов Н. Г. Высокого качества электроды ( приложение 2.1.) в настоящее время изготавливаются на Тюменском заводе сварочных электродов.

Источниками питания электрической дуги являются :

1.Сварочные трансформаторы (рис. 2.16).

Напряжение первичной обмотки 220 В в однофазных трансформаторах или 380 В в двух и трехфазных трансформаторах понижается до более низкого напряжения (40...90 В холостого хода). Во вторичной обмотке в несколько раз меньше витков, чем у первичной обмотки, а провод изготавливается значительно большего сечения, т.к. сварочные токи измеряются сотнями и тысячами ампер. Сила сварочного тока регулируется несколькими способами: переключением вторичных обмоток (изменение числа витков), изменением воздушного зазора между подвижным пакетом и неподвижным магнитопроводом, перемещением катушек вторичной обмотки и включением магнитного дросселя в сварочную цепь.

2.Сварочные преобразователи, представляющие собой установку, в которой ротор сварочного генератора постоянного или переменного тока приводится во вращение электродвигателем. Сила тока регулируется с помощью обмоток возбуждения.

3. Сварочные выпрямители, состоящие из понижающего одно-, двух- или трехфазного трансформатора и блока выпрямителей ( диоды, селеновые, германиевые или кремниевые пластины ).

4. Сварочные агрегаты, состоящие из генератора постоянного или

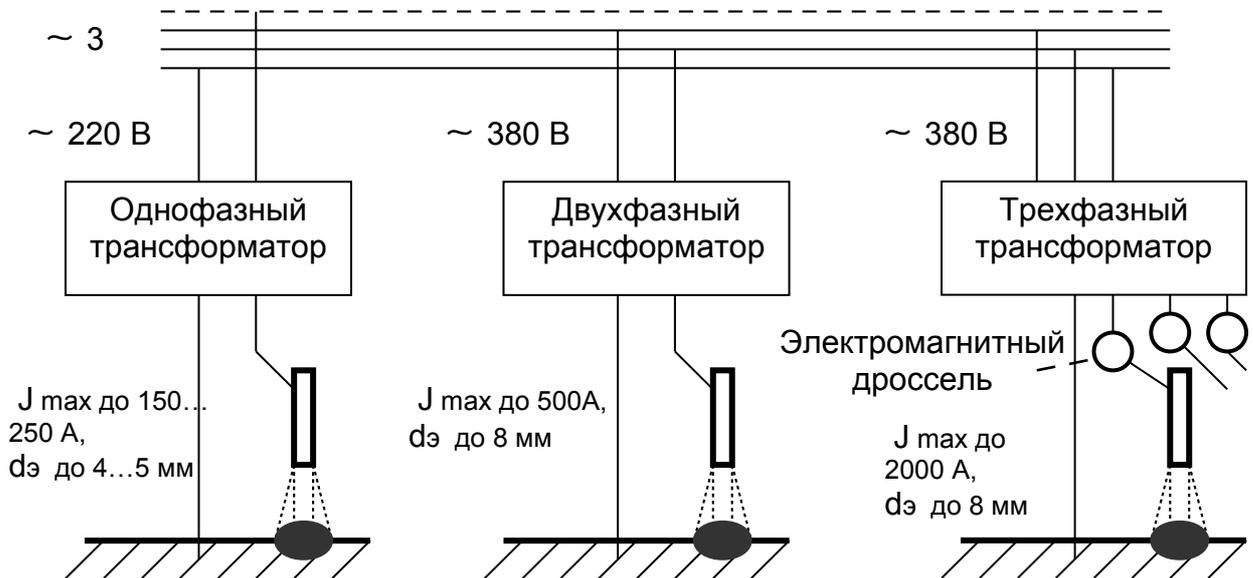


Рис. 2.16. Схемы подключения одно- двух- и трехфазных трансформаторов.

переменного тока, приводимого в действие карбюраторным или дизельным двигателем. На некоторых передвижных установках привод выполняется от вала отбора мощности трактора или трансмиссии автомобиля.

Для упрощения зажигания и улучшения устойчивости горения дуги в некоторых случаях, например, при аргоно-дуговой сварке, используются осцилляторы, которые преобразуют переменный ток в ток высокой частоты (150... 500 кГц ) и высокого напряжения (2... 6 кВ ), который накладывается на основной сварочный ток. Осциллятор включается параллельно сварочному трансформатору, высокие напряжения и частота способствуют улучшению пробоя газовой среды и её ионизации.

Сварка может выполняться как на переменном, так и на постоянном токе. По возможности следует проводить сварку на переменном токе, т.к. она раза в два экономичнее сварки на постоянном токе. Следует иметь в виду, что температура дуги выше на аноде, чем на катоде. Поэтому при необходимости глубокого проплавления металла применяют прямую полярность: плюс (анод) на деталь, а минус (катод) на электрод (рис. 2.17.). Для уменьшения перегрева детали применяют обратную полярность : минус присоединяют к деталям, а плюс на электрод.

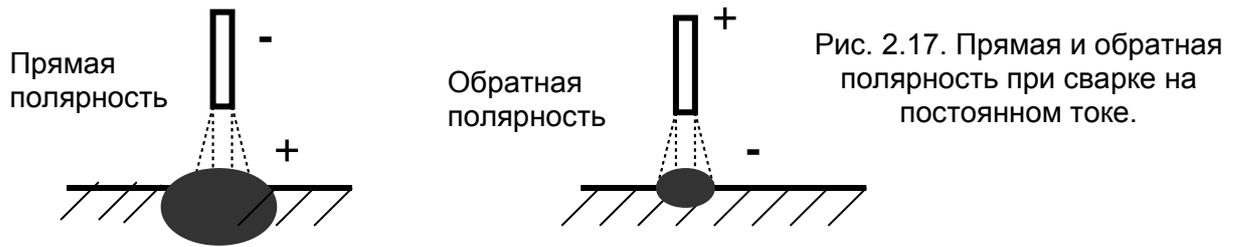


Рис. 2.17. Прямая и обратная полярность при сварке на постоянном токе.

Для повышения производительности ручной дуговой сварки применяют ряд способов :

1. Сварка с глубоким проплавлением (рис 2.18). Используется электрод ОЗС с повышенной толщиной покрытия, у которого расплавление обмазки несколько отстает от расплавления электрода, поэтому дуга плавится как бы внутри чехла. Действие дуги концентрируется и

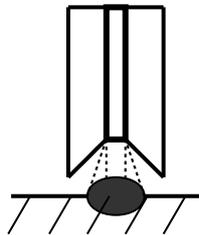


Рис. 2.18. Сварка электродом с повышенной толщиной обмазки

меньше потерь тепла, поэтому глубина проплавления увеличивается.

2. Сварка лежачим электродом (рис. 2.19). Электрод с повышенной толщиной обмазки укладывается в разделку шва, возбуждают дугу, которая горит и по мере расплавления электрода перемещается по его длине.

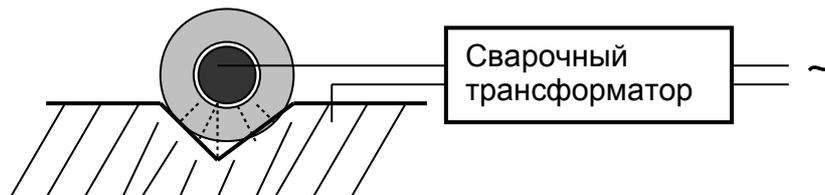


Рис. 2.19. Схема сварки лежачим электродом.

3. Сварка пучком электродов. Берется несколько электродов, сваривают концы, при сварке получается дуга, плавающая по электродам.
4. Сварка ваннным способом (рис. 2.20). В месте соединения арматурных и других стержней делают ванночку из стальной или медной ленты, либо используют керамическую разъемную форму. Между стыками стержней оставляют зазор около 1,5 диаметра электрода с покрытием; при горении дуги в этом пространстве образуется ванна жидкого металла. Для того, чтобы ванна не успевала остыть, берут толстые

электроды или пучок электродов, используют повышенный ток и без задержек меняют электроды.

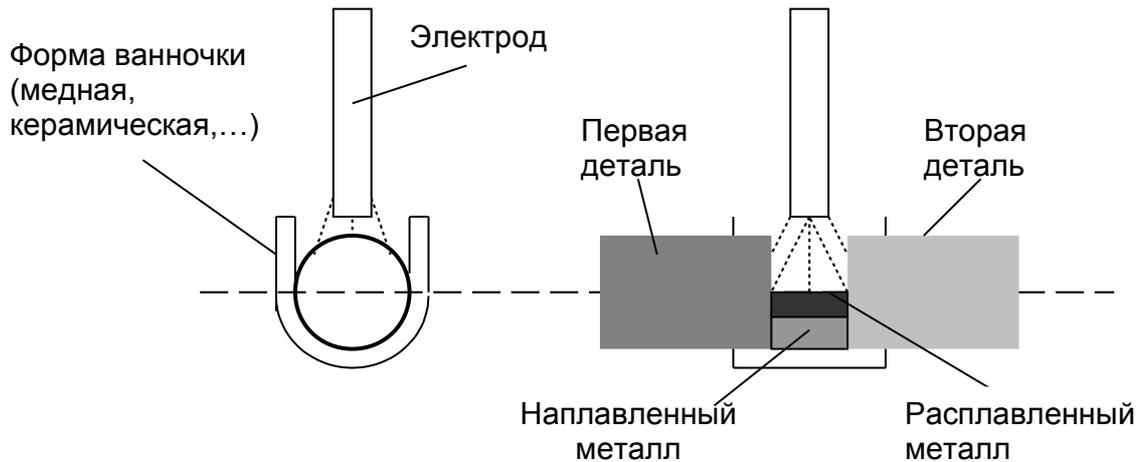


Рис. 2. 20. Схема ванный сварки деталей.

5. Сварка трехфазной дугой (рис. 2.21). Используется специальный электрод, состоящий из двух электрически изолированных между собой

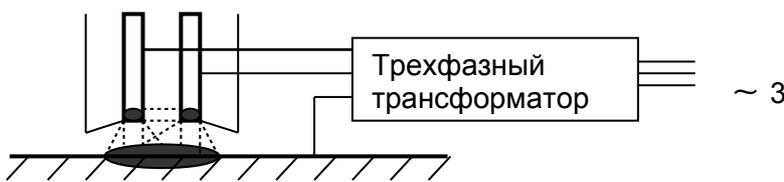


Рис. 2. 21. Сварка трехфазной дугой.

стержней и покрытых общей обмазкой. К каждому стержню подводится по фазе, а третья — к детали.

6. Сварка порошковой проволокой (рис. 2.22). Наружная оболочка является проводником электрического тока, защитным устройством для сердечника. Защитное покрытие находится внутри электрода. Очень эффективно использовать порошковую проволоку для сварки в среде углекислого газа. Это позволяет применять более высокие плотности тока, уменьшается разбрызгивание металла, улучшаются механические свойства. Сварка порошковой проволокой весьма удобна, т.к. упрощается конструкция сварочного оборудования.

Для сварки и наплавки конструкционных сталей применяются следующие

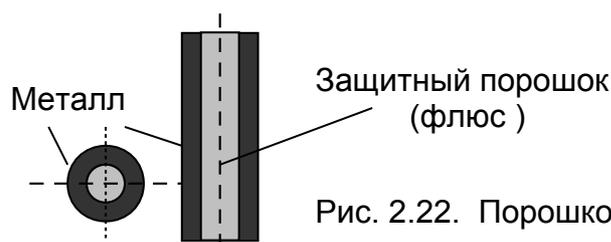


Рис. 2.22. Порошковая проволока.

типы электродов:

для низколегированных сталей -Э-34, Э-38,Э- 42,Э- 42А,Э- 46,Э- 46А;  
 для среднеуглеродистых и низколегированных сталей-Э-50,Э- 50А,Э- 55;  
 для легированных сталей повышенной прочности- Э-60,Э- 60А,Э- 70,Э-  
 85, Э-100,Э- 125,Э- 145,Э-150.

Цифра в обозначении типов электродов показывает значение предела прочности разрыву ( $\sigma_b$ ) в кгс/мм<sup>2</sup>, а индекс А в конце обозначения -повышенную пластичность материала сварного шва.

Каждому типу электродов может соответствовать несколько марок. Например, к типу Э-42А относится электроды марок УОНИ-13/45, ОЗС-2, СМ-11 и др., а к типу Э-46 — электроды АНО-3, АНО-4 и др.

Расчет режимов ручной электродуговой сварки проводится в соответствии с алгоритмом (рис. 2.23).

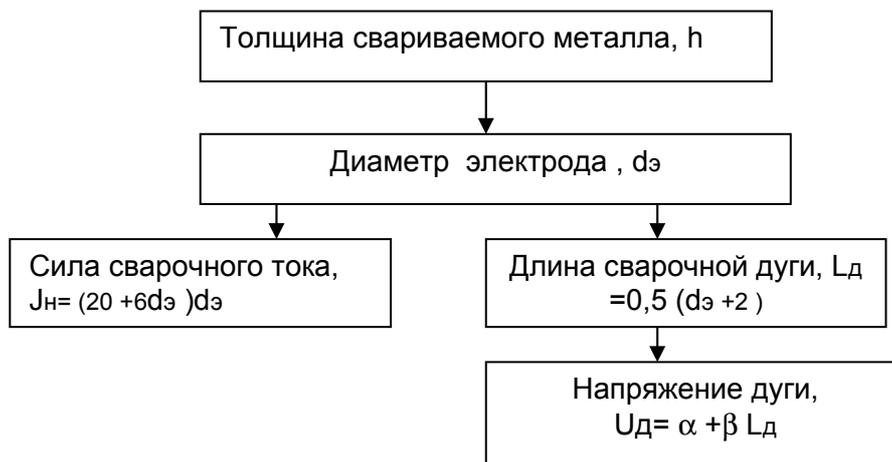


Рис. 2. 23. Алгоритм обоснования режимов ручной электродуговой сварки.

Сначала выбирается по таблице диаметр электрода  $dэ$  в зависимости от толщины  $h$  свариваемого металла.

|           |     |         |         |        |      |
|-----------|-----|---------|---------|--------|------|
| $h$ , мм  | 0,5 | 1...2   | 2...5   | 5...10 | > 10 |
| $dэ$ , мм | 1,5 | 2...2,5 | 2,5...4 | 4...6  | 4..8 |

Потом определяется сила сварочного тока по формуле:

$$J_n = (20 + 6dэ) dэ,$$

а далее находится длина сварочной дуги:

$$L_d = 0,5 (dэ + 2), \quad \text{мм}$$

и по ней определяется напряжение дуги:

$$U_d = \alpha + \beta L_d, \quad \text{В}$$

$$U_d = \alpha + \beta L_d, \quad \text{В.}$$

## 2.7. Особенности сварки чугуна и алюминия.

Из чугуна изготавливаются многие базисные детали строительного-дорожного машин, тракторов, автомобилей и технологического оборудования. При эксплуатации этих машин у чугунных деталей появляются трещины, изломы, износы, которые необходимо устранять.

Сварка чугуна затруднена вследствие следующих причин :

- 1-склонности чугуна к отбеливанию;
- 2-трещинообразования при сварке;
- 3-резкого перехода при нагреве из твердого состояния в жидкое.

Чугун называется отбеленным, если большая часть углерода в нем находится в химически связанном состоянии, т.е. в виде цементита  $Fe_3C$ . Отбеливание происходит при быстром охлаждении расплавленного чугуна, Углерод не успевает выделиться в виде графита, а выделяется в виде цементита, ледебурита и мартенсита; чугун становится твердым и не поддается механической обработке.

В сером чугуне углерод находится в виде графита. Графитизация чугуна происходит не только при переходе чугуна из жидкого состояния в твердое, но и при дальнейшем охлаждении, причем чем медленнее охлаждается деталь, тем полнее происходит графитизация. Холодная масса чугунной , чаще всего большой по массе детали, ускоренно отводит тепло сварки, поэтому происходит интенсивное отбеливание сварного шва, а вследствие различия коэффициентов расширения серого и белого чугунов возникают внутренние трещины.

Избежать этих затруднений при сварке чугуна можно двумя способами :

1. Выполнять горячую сварку металла с последующим медленным охлаждением после сварки;
2. Выполнять холодную сварку чугуна, но вводить в шов элементы, препятствующие образованию цементита , или использовать способы упрочнения швов.

Горячая сварка чугуна проводится на предварительно нагретых до 600 .... 650 °С деталях. После сварки происходит охлаждение всей массы нагретой детали, поэтому скорость охлаждения сварного шва будет ниже, чем при холодной сварке. В сварном шве успевает произойти графитизация, скорость усадки уменьшается и поэтому не образуется трещин в околошовной зоне.

При заварке трещин в конструктивно сложных деталях с целью устранения возможного трещинообразования проводится 2-х ступенчатый нагрев : сначала до температуры 200 ...250 °С нагревают с относительно не высокой

скоростью до 600 С°/ час, а далее - с большей скоростью до 1600 С°/ час. Сварка выполняется электродами типа ОМЧ-1, состоящих из чугунных прутков со специальным покрытием, или при газовой сварке чугунными прутками без покрытия .

Горячая сварка позволяет получить наилучшие результаты, но процесс технологически сложный и очень трудоемкий, поэтому широкого распространения не получила.

Чаще применяется холодная сварка чугуна, выполняемая следующими способами :

1. Стальным малоуглеродистым электродом.
2. Специальными электродами ПАНЧ-11, МНЧ-1, МНЧ-2, ОЗЧ-1 и др.
3. Биметаллическим электродом или пучком электродов.

Для повышения надежности сварки стальными малоуглеродистыми электродами в разделанные кромки шва ставят резьбовые шпильки или используется способ отжигающих валиков (рис. 2. 24). При наложении второго и

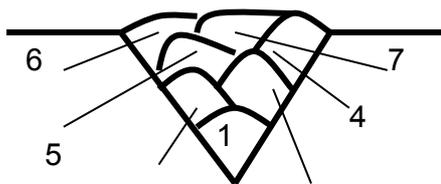
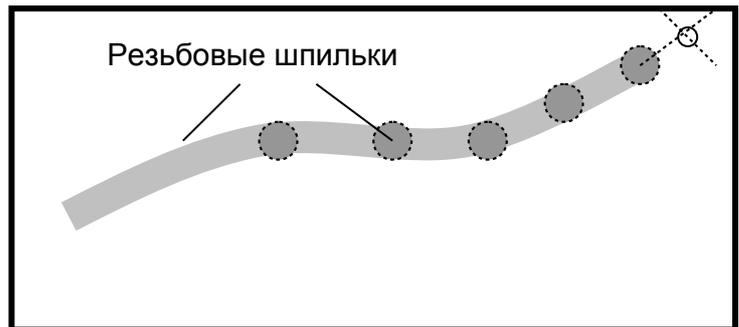


Рис. 2. 24. Метод отжигающих валиков и резьбовых шпилек при заварке трещин в чугунных деталях



последующего валиков первые сварные швы вновь нагреваются и уже остывают с меньшей скоростью, поэтому значительная часть цементита распадается, получается более мягкий сплав с меньшей степенью отбеливания. Структура различных зон сварки получается неодинаковой, однако в среднем она лучше , чем при обычной сварке. Эффективно использовать способ отжигающих валиков в комплексе со шпильками.

Для устранения продолжения трещины на ее оси сверлятся отверстия диаметром 2..3 мм, зубилом или шлифовальным кругом проводят V-образную разделку трещины и сверлят по ее длине отверстия, нарезают в них резьбы и заворачивают шпильки, которые сначала обваривают кругом, а затем наплавливают весь сплошной шов.

Однако эти способы холодной сварки малопроизводительны, поэтому , чаще всего, используются другие способы сварки чугунных деталей.

Если требуется хорошая обрабатываемость шва и допускается невысокая прочность, то используются электроды МНЧ-1, МНЧ-2. Никель, входящий в состав электродов, не образует соединений с углеродом, поэтому шов имеет невысокую твердость, но хорошо механически обрабатывается. Хорошие результаты при сварке чугуна дает использование сварочной проволоки ПАНЧ-11.

Электроды ОЗЧ-4, изготавливаемые из медной проволоки с фтористо-кальциевой обмазкой, обеспечивают прочный, но труднообрабатываемый шов, представляющий собой медь, насыщенную железом.

При отсутствии специальных электродов изготавливаются биметаллические электроды (рис. 2.25) намоткой медной проволоки или надеванием медной трубки (меди до 70% от железа) на стальной стержень или малоуглеродистый стальной электрод. Сварной шов также представляет собой медь с вкраплениями железа, прочность его составляет до 60 ...70% от прочности основного металла.

Для сварки толстостенных чугунных деталей используют пучок электродов

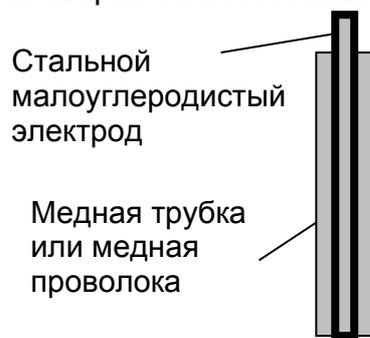


Рис. 2.25. Биметаллический электрод.

: стальной электрод диаметром 3 ... 4 мм с обмазкой УОНИ-13/55, медный стержень диаметром 4... 5 мм и латунный пруток диаметром 1,5 ... 3 мм. Электрическая дуга автоматически перемещается с одного электрода на другой, поэтому тепло распространяется на большую площадь, шов медленнее охлаждается и поэтому меньше отбеливается. Пучок может также состоять из одного медного и одного стального, или двух медных и одного стального электродов.

Газовую ацетилено-кислородную сварку чугуна ведут нейтральным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Присадочный материал — чугунные прутки диаметром 6 ...8 мм. При газовой сварке используются флюсы :

- 1 - бура;
- 2 - смесь 50 % буры, 47 % двууглекислого натрия и 3 % окиси кремния;
- 3 - смесь 56 % буры, 22 % углекислого натрия и 22 % углекислого калия.

Трудность сварки алюминия заключается в следующем :

1. На поверхности детали образуется тугоплавкая окись алюминия, высокая температура (2050...2060 °С) плавления которой препятствует

образованию сварочной ванны и соединению кромок свариваемого материала, который расплавляется при более низкой температуре (650 ... 660 °С).

2. Алюминий и его сплавы жидкотекучи, не меняют своего цвета, оставаясь серебристо-белыми. Это затрудняет сварку и визуальное определение момента сварки и заплавления шва.
3. Высокая теплопроводность алюминия и быстрый отвод тепла приводят к большим внутренним напряжениям, к короблению деталей и к появлению трещин.

Несмотря на эти затруднения можно получить качественные сварные швы одним из способов :

- 1-газовой сваркой как без флюса, так и с флюсом;
- 2-электродуговой сваркой плавящим электродам;
- 3-электродуговой сваркой неплавящим угольным электродом;
- 4-аргонно-дуговой сваркой.

Газовую сварку без флюса проводят восстановительным пламенем с небольшим избытком ацетилена. Внутренние полости детали набивают песком, на деталь, подогретую до 250 ... 300 °С, укладывают куски припоя (металл однородный с деталью) и пламенем горелки одновременно подогревают припой и деталь, а с помощью стального крючка удаляют окисную пленку и пододвигают расплавленные куски припоя к трещине, перемешивают крючком, добиваясь надежного сваривания.

При безфлюсовой сварке качество сварки хуже, чем при сварке с флюсом. Для разрушения окисной пленки чаще всего используется флюс АФ-4А, представляющий собой смесь хлористых и фтористых солей натрия, калия и лития. Флюс сильно разъедает металл, поэтому после сварки необходимо тщательно удалять остатки флюса и промывать деталь. Сварку детали ведут алюминиевым прутом, предварительно покрытым флюсом, или флюс насыпают на кромки трещин и водят по нему прутом, или пруток во время сварки обмакивают во флюс. Для улучшения структуры шва и снятия внутренних напряжений деталь при сварке желательно нагревать до 300 ... 350 °С.

Электродуговую сварку алюминиевых деталей проводят на постоянном токе обратной полярности. Используются электроды типа ОЗА-1 и ОЗА-2, изготавливаемые из алюминиевой проволоки с нанесенной обмазкой, аналогичной по составу флюсу АФ-4А.

Сварка алюминия угольным электродом применяется реже, чем другими способами. Процесс выполняется аналогично газовой сварке с флюсом.

Аргонно-дуговая сварка ( рис. 2.26 ) обеспечивает самое лучшее качество

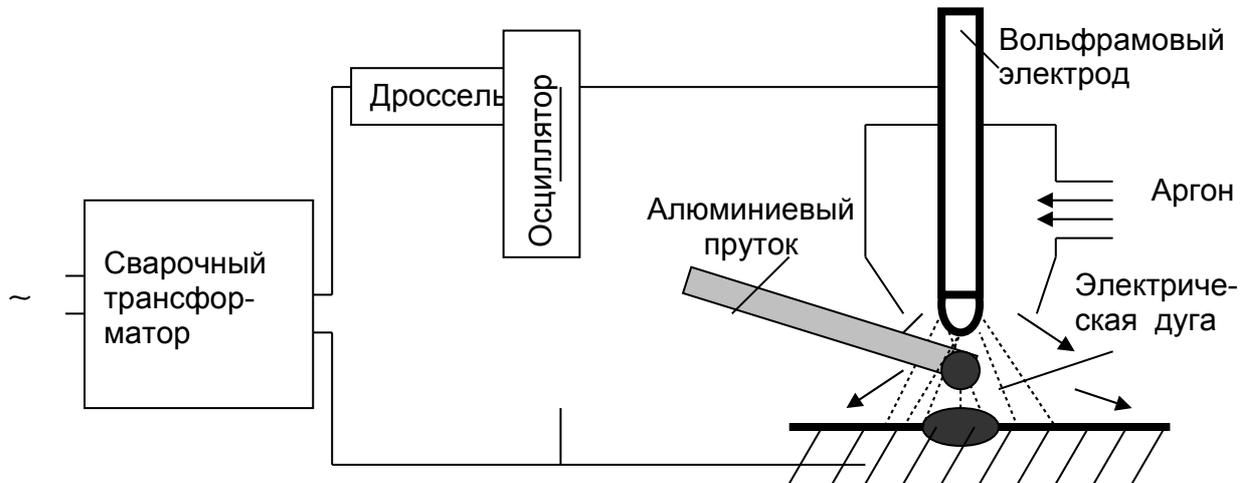


Рис. 2. 26. Схема аргонно-дуговой сварки алюминия.

сварки, выполняется с помощью вольфрамового электрода и стационарных установок УДАР-300, УДАР-500, состоящих из сварочного трансформатора с дросселем насыщения и осциллятором или с помощью передвижных установок УДГ-301 и УДГ-501. Имеются установки для сварки алюминия различными токами: постоянным или импульсным (УДГ-161); постоянным, импульсным или переменным (УДГ- 251, УДГ-351) .

В зону электрической дуги между деталью и вольфрамовым электродом через специальную горелку подается аргон, который предохраняет металл от окисления и вводится алюминиевый пруток. Разрушение окисной пленки происходит под действием дуги. Состав электродной проволоки выбирается близким по составу основному металлу.

## 2. 8 . Механизированная наплавка и сварка.

При производстве труб и строительных конструкций, при ремонте изношенных шеек коленчатых валов, шпоночных канавок, шлицов и шеек валов редукторов и коробок перемены передач строительно-дорожных машин, деталей ходовой части гусеничных машин и других деталей широко применяется механизированная наплавка и сварка. Наиболее распространены следующие способы наплавки: под слоем флюса, в средах углекислого газа, аргона и смеси защитных газов, электрошлаковая, электроконтактная, плазменная, вибродуговая, порошковая, приварка ленты.

Наплавка под слоем флюса (рис. 2.27) хорошо защищает расплавленный металл от вредного воздействия воздуха, по сравнению с ручной электродуговой сваркой облегчаются условия и повышается производительность труда. Кроме того,

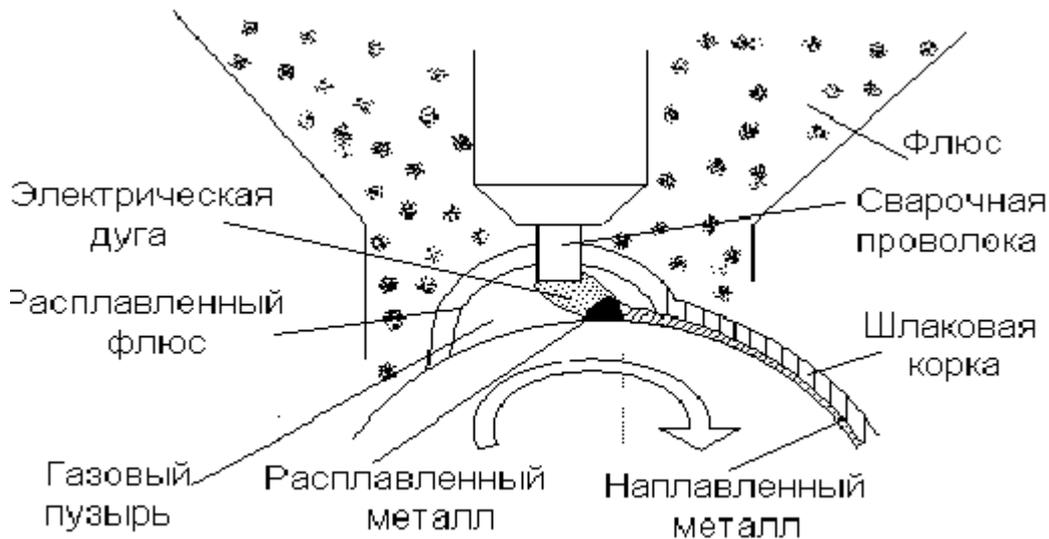


Рис. 2.27. Наплавка под слоем флюса.

есть возможность улучшить качество наплавленного металла за счет легирования флюса.

Электрическая дуга горит под слоем гранулированного флюса в газовом пузыре, избыточное давление в котором надежно предохраняет металл от отрицательных воздействий воздуха (давление в газовом пузыре чуть выше атмосферного, за счет этого образуется свод расплавленного флюса и воздух не попадает к сварочной ванне). Кроме того, флюсовая оболочка не дает разбрызгиваться металлу электрода и позволяет лучше использовать тепло.

Процесс наплавки под слоем флюса очень производительный по двум причинам:

1. Сварочный ток ( $150 \dots 200 \text{ A/мм}^2$  на единицу площади проволоки) из-за небольшого вылета электрода в  $7 \dots 8$  раз превышает значения тока при ручной электродуговой сварке.

2. Коэффициент наплавки в  $1,5 \dots 2$  раза выше чем при ручной электродуговой сварке, т. к. флюс и расплавленный шлак снижают потери тепла и металла на разбрызгивание и угар (не превышают 2% от массы расплавленной проволоки).

В качестве электрода используют голую сварочную проволоку диаметром от 1 до 6 мм. Подачу проволоки (100...300 м/час) регулируют с помощью специального устройства.

По способу приготовления флюсы делятся на плавленные и неплавленные или керамические.

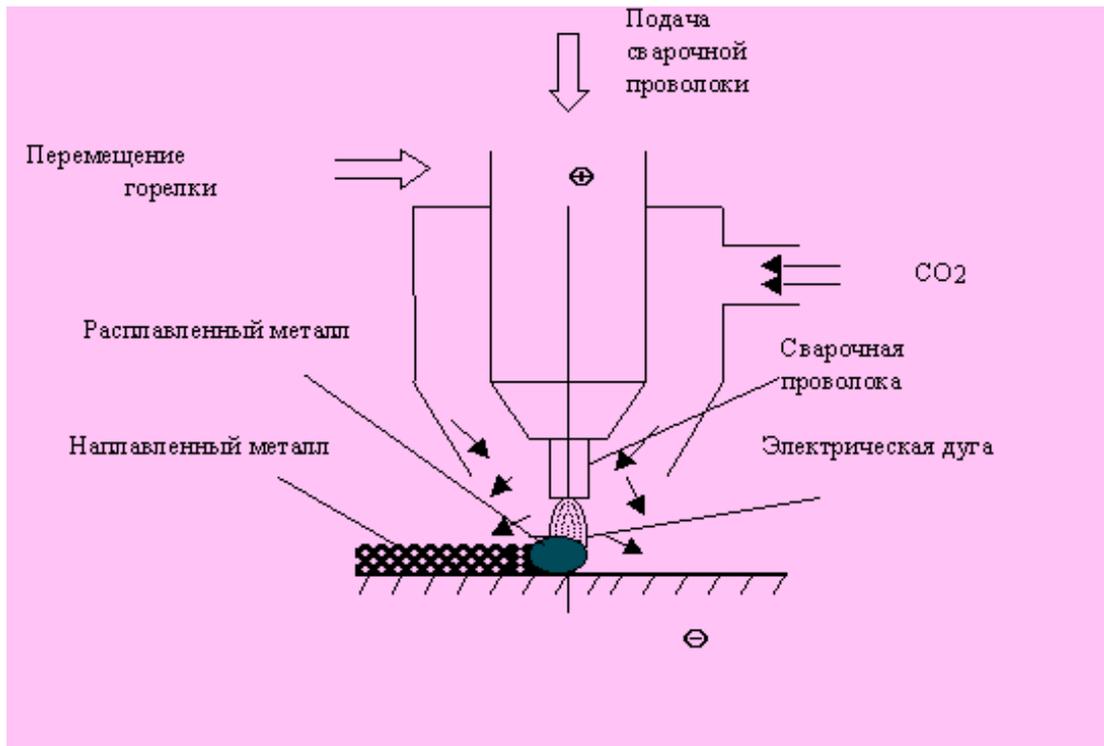
Плавленные флюсы получают сплавлением силикатов в печах и размельчением, они имеют стеклообразный вид. Эти флюсы сами не участвуют в формировании химического состава расплавленного металла, а только предохраняют его от воздуха. Наиболее распространен и дает хорошие результаты флюс АН - 348А. Однако, при использовании обычной сварочной проволоки типа Св-08, Св-10 получается малоуглеродистый слой наплавленного металла, имеющий низкую прочность и износостойкость. Введением в этот флюс (1 %) графита или феррохрома можно получить износостойкий слой.

Неплавленные флюсы (АНК – 18, АНК-40, ЖСН-5,...) это (аналогично обмазке электрода) механическая смесь легирующих, газо- и шлакообразующих, связывающих и раскисляющих компонентов, влияющих на протекание металлургического процесса. Хотя эти флюсы дают очень высокое качество наплавки, но они относительно дорогие.

При наплавке под слоем флюса чаще всего используют обратную полярность: через медный мундштук плюс от источника тока подводится к проволоке, а минус через станину и токосъемник — к детали. Для увеличения производительности наплавки применяют многоэлектродную наплавку или наплавку ленточным электродом. В первом случае подаются через специальный мундштук или двумя полуавтоматами две проволоки. Ленточным электродом можно наплавлять слой металла шириной до 100 мм.

В качестве защитных газов при сварке используются аргон, углекислый газ, смеси газов и водяной пар. Из-за высокой стоимости аргона наибольшее распространение на заводах сварных строительных и машиностроительных конструкций получила наплавка в среде углекислого газа (рис. 2..28). Восстановление деталей сваркой и наплавкой в среде углекислого газа используется в основном для ремонта тонкостенных деталей кабин, кузовов и оперения.

Рис.2.28. . Схема наплавки в среде углекислого газа



Углекислый газ, подаваемый в зону сварки, оттесняет воздух и тем самым защищает сварной шов от азота и кислорода. Однако углекислый газ при высокой температуре электрической дуги ( до 6000 °С) разлагается на окись углерода и кислород, поэтому выгорают углерод и легирующие элементы в наплавляемом металле. Негативные последствия этого устраняются применением специальной сварочной проволоки Св-08ГС, Св-10ГС и др. диаметром 0,8 ...1,2 мм., содержащие легирующие добавки кремния, титана и марганца.

Достоинствами наплавки в среде углекислого газа являются :

1-плотный, ровный и красивый сварной шов, нет шлаковой корки и не требуется последующая механическая обработка, металл шва менее чувствителен к коррозии;

2-высокая производительность труда (в 1,5...2,5 раза выше, чем при ручной электродуговой сварке);

3-хорошие условия для визуального наблюдения сварщиком за процессом сварки;

4-небольшое коробление детали из-за хорошего охлаждения ее газом.

В качестве недостатков можно назвать относительно большое разбрызгивание металла и сравнительно низкие механические свойства сварного шва.

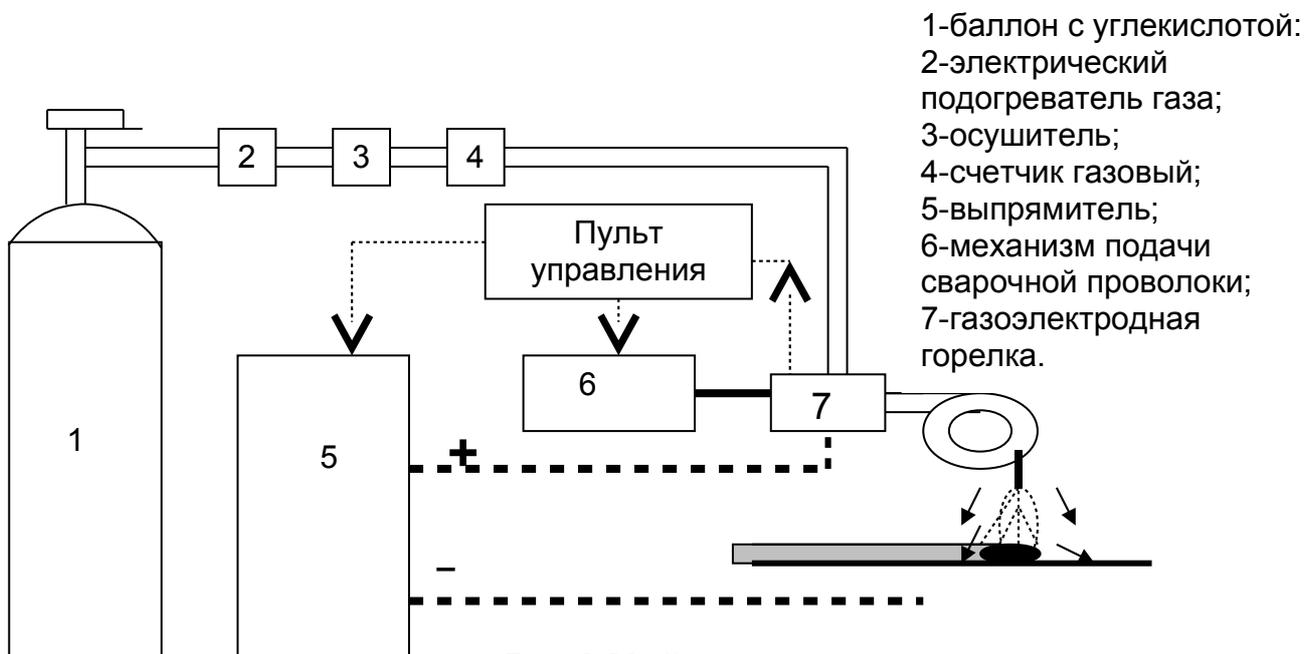


Рис. 2.29. Схема установки для сварки в среде углекислого газа.

Для сварки (рис. 2. 29 ) пользуются углекислотой, поставляемой в баллонах объемом 40 литров. Этого количества газа достаточно на 15 ... 20 часов работы. Чтобы влага, содержащаяся в углекислоте, не вызывала разбрызгивание металла при сварке предусмотрен осушитель газа (медный купорос). В качестве редуктора используется обыкновенный кислородный редуктор. Сварка производится током обратной полярности. Расход углекислого газа 400...500 л/мин. получается узкий и глубокий шов и малая зона термического влияния.

В настоящее время для защиты сварочной дуги от вредного воздействия воздуха все шире начинают использовать защитные газовые смеси, состоящие из углекислого газа  $\text{CO}_2$  и аргона  $\text{Ar}$ .

Из-за снижения потерь металла до 70...80 % на разбрызгивание по сравнению с традиционной ( в защитной среде  $\text{CO}_2$  ) производительность сварки (рис. 2.30 ) существенно ( до 2 раз) возрастает и на 10...15% уменьшаются расходы электроэнергии и материалов. Смеси поставляются (завод «Уралтехгаз», г. Екатеринбург) в 40-литровых баллонах .

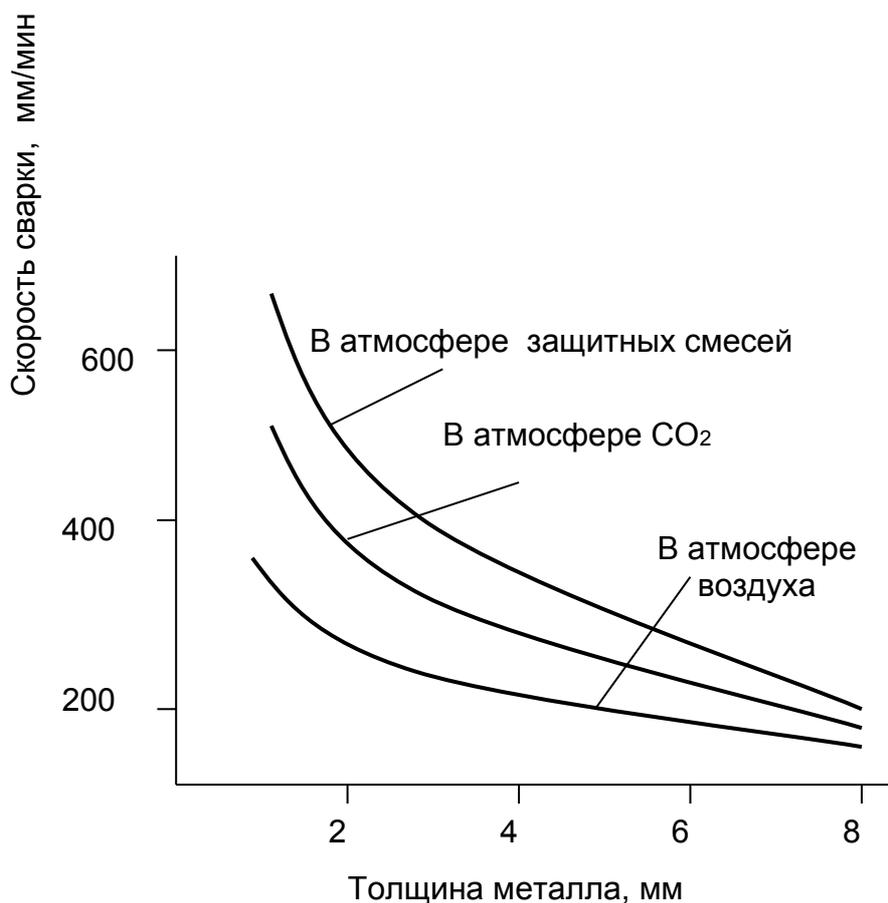


Рис. 2.30.. Влияние защитной среды на производительность сварки.

Электрошлаковая наплавка. (рис. 2.31.) используется для ремонта деталей, имеющих большой износ (катки и гусеницы трактора,...), дает наибольшую из всех видов сварки плавлением производительность наплавки ( $K_n = 25...30$  г/А ч по сравнению с 7...12 г/А ч ручной электродуговой сварки) и позволяет получить наплавленный металл высокого качества.

Сначала флюс расплавляется электрической дугой и далее является электрическим проводником, нагревающим при прохождении через него электрического тока, вследствие этого расплавляется металл электрода и детали,

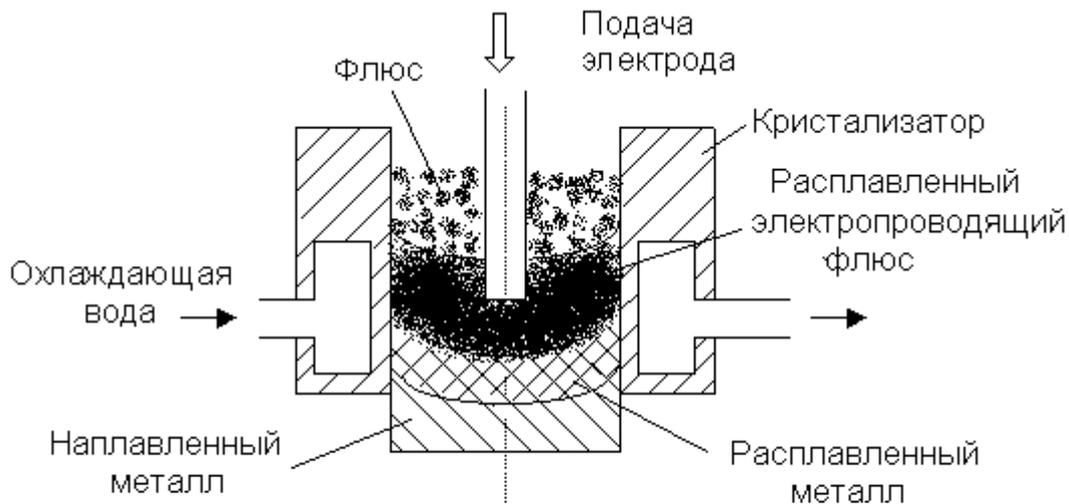


Рис. 2.31. Схема электрошлаковой наплавки.

образуется металлическая ванна. При движении кристаллизатора вверх со скоростью соответствующей скорости расплавления электрода, которая в свою очередь определяется размером электрода и силой тока, происходит перемещение металлической ванны с флюсом вверх с остыванием нижних слоев металла. Флюс полностью предохраняет ванну от воздействия воздуха, позволяет вводить легирующие элементы, концентрирует тепло на расплавление металла.

Вибродуговая наплавка выполняется колеблющимся электродом с частотой 50 ...100 гц и с амплитудой 1 ...3 мм. Колебания электрода оказывают существенное влияние на протекание процесса наплавки, состоящего из чередования циклов горения дуги, холостого хода и короткого замыкания.

Важной особенностью процесса является то, что вследствие наличия индуктивности в цепи при сравнительно низком напряжении источника тока (12 ... 20 В) дуговой разряд протекает при напряжении устойчивого горения дуги (30... 35 В). В период дугового разряда выделяется 80 ... 90 % всего тепла (при коротком замыкании всего 10 ... 20%).

Вибродуговую наплавку выполняют на постоянном токе обратной полярности в среде охлаждающей жидкости. В качестве её используется 4...5%-ый раствор кальцинированной соды или 10% -ый раствор технического глицерина в воде. Раствор подается на расстоянии 20 ... 40 мм от электрода. Вода переходит в пар, её пары и продукты разложения (кислород и водород защищают металл от азота). Подача охлаждающей воды также, как и прерывистый характер процесса,

способствует уменьшению термического влияния. При разложении соды кальций способствует стабилизации горения дуги, а глицерин способствует уменьшению трещин при наплавке высокоуглеродистой проволокой.

Несмотря на ряд преимуществ ( маленькая зона термического влияния, снижение выгорания легирующих элементов, возможность получения тонких и прочных покрытий) при вибродуговой наплавке имеет место существенный недостаток - снижение усталостной прочности деталей из-за неоднородности структуры и наличия пор. Поэтому этот способ в настоящее время используется редко, в частности, он не рекомендуется для наплавки деталей, работающих при знакопеременных нагрузках.

Сварка трением ( рис 2.32) используется при изготовлении деталей, имеющих форму тел вращения, и в крупносерийном ремонте производстве. Этим способом восстанавливаются шаровые пальцы, тяги. Широко применяется сварка трением при изготовлении и ремонте режущего инструмента (сверл, метчиков, фрез, разверток) .Этим способом свариваются круглые стержни и трубы, выполняется их приварка к поверхностям деталей.

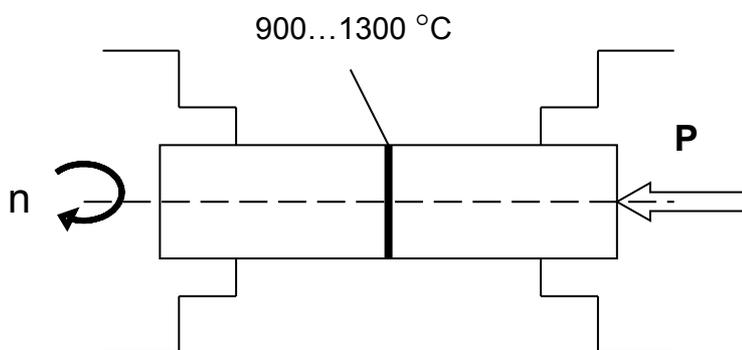


Рис. 2.32. . Сварка трением

При вращении, прижатые усилием P, торцевые поверхности детали нагреваются до 900 ...1300 °С; вращение прекращается, а усилие прижима увеличивается в 2 ... 3 раза и происходит сварка деталей давлением.

Сварка трением выполняется быстро, имеет высокий К.П.Д. и высокую производительность. Так для сравнения, электроконтактная сварка деталей поперечного сечения 750 мм<sup>2</sup> выполняется за 12 секунд при потребляемой мощности 110 кВт, а при сварке трением такой же детали время сварки почти такое же- 10 секунд , но достаточно всего 5,4 кВт мощности. Недостатками этого способа является ограниченная область применения ( только для тел вращения) и сравнительно небольшие размеры деталей.

Электронно-лучевая сварка (рис. 2.33) из-за технологической сложности не получила широкого распространения, но является перспективной вследствие высокой производительности, малой зоны термического влияния и хорошего качества сварного шва.

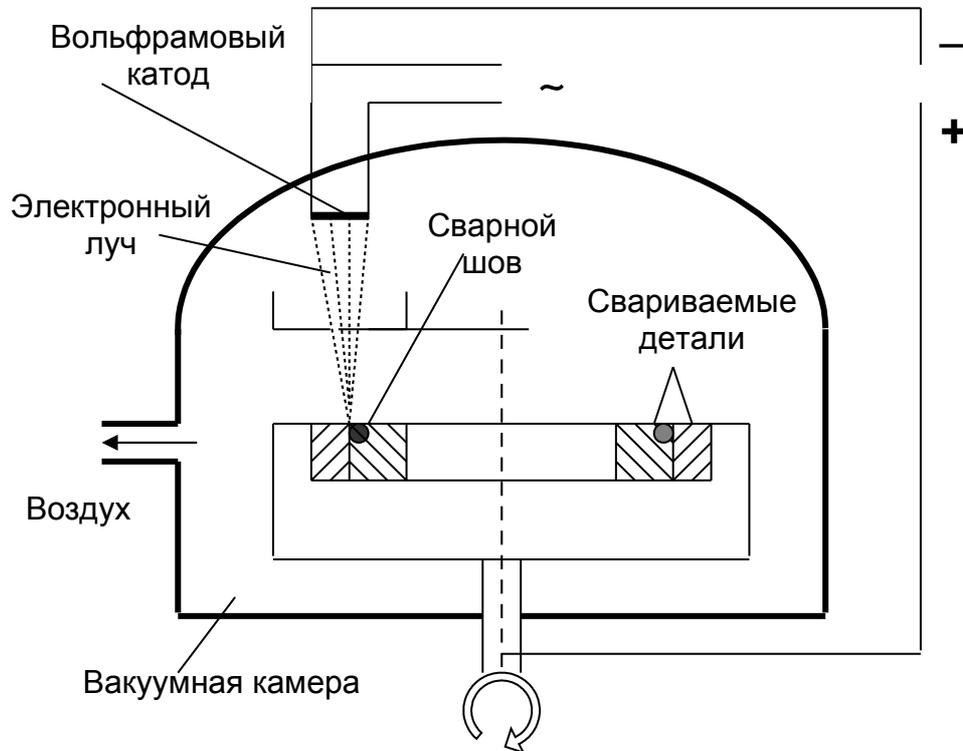


Рис. 2.33. Схема электронно-лучевой сварки.

Сварка проводится в вакуумной камере, где и помещается деталь перемещающаяся со скоростью сварки. Переменный ток низкого напряжения нагревает вольфрамовый катод, который испускает электроны, электрическим или магнитным полем фокусирующие в электронный луч. Для усиления эмиссии к детали и катоду подводится выпрямленный ток высокого напряжения. В результате получается узкий и глубокий шов и малая зона термического влияния.

### 2.9. Плазменная сварка и наплавка.

Плазменная сварка и наплавка является наиболее прогрессивным способом восстановления изношенных деталей машин и нанесения износостойких покрытий (сплавов, порошков, полимеров,...) на рабочую поверхность при изготовлении деталей.

Плазмой называется высокотемпературный сильно ионизированный газ, состоящий из молекул, атомов, ионов, электронов, световых квантов и др.

При дуговой ионизации газ пропускают через канал и создают дуговой разряд, тепловое влияние которого ионизирует газ, а электрическое поле создает

направленную плазменную струю. Газ может ионизироваться также под действием электрического поля высокой частоты. Газ подается при 2 ...3 атмосферах, возбуждается электрическая дуга силой 400 ... 500 А и напряжением 120 ... 160 В. Ионизированный газ достигает температуры 10 ... 18 тыс. °С, а скорость потока - до 15000 м/сек. Плазменная струя образуется в специальных горелках - плазматронах. Катодом является неплавящийся вольфрамовый электрод.

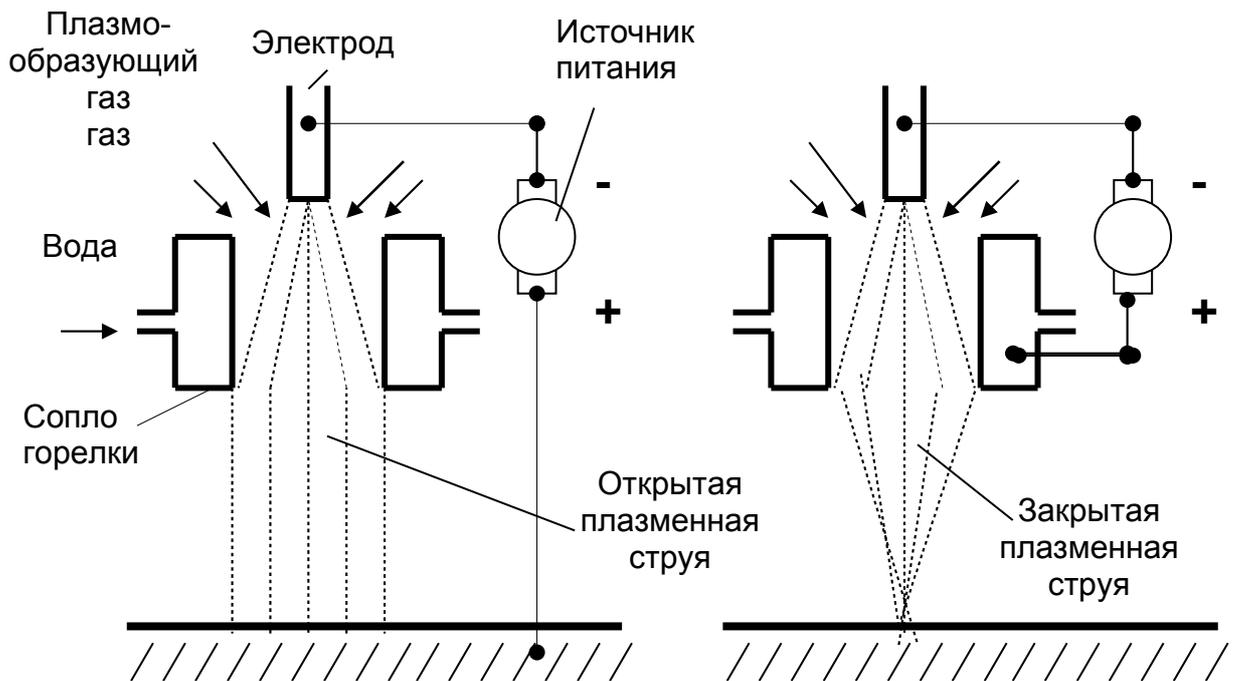


Рис. 2.34. Схема плазменной сварки открытой и закрытой плазменной струей.

В зависимости от схемы подключения анода различают (рис. 2. 34) :

1. Открытую плазменную струю (анодом является деталь или пруток). В этом случае происходит повышенный нагрев детали. Используется эта схема при резке металла и для нанесения покрытий.
2. Закрытую плазменную струю (анодом является сопло или канал горелки). Хотя температура сжатой дуги на 20 ...30% в этом случае выше, но интенсивность потока ниже, т.к. увеличивается теплоотдача в окружающую среду. Схема используется для закалки, металлизации и напыливания порошков.
3. Комбинированная схема (анод подключается к детали и к соплу горелки). В этом случае горят две дуги, Схема используется при наплавке порошком.

Наплавку металла можно реализовать двумя способами :

- 1-струя газа захватывает и подает порошок на поверхность детали;

2-вводится в плазменную струю присадочный материал в виде проволоки, прутка, ленты.

В качестве плазмообразующих газов можно использовать аргон, гелий, азот, кислород, водород и воздух. Наилучшие результаты сварки получаются с аргоном.

Достоинствами плазменной наплавки являются :

1. Высокая концентрация тепловой мощности и возможность минимальной ширины зоны термического влияния.
2. Возможность получения толщины наплавляемого слоя от 0,1 мм до нескольких миллиметров.
3. Возможность наплавления различных износостойких материалов (медь, латунь, пластмасса) на стальную деталь.
4. Возможность выполнения плазменной закалки поверхности детали.
5. Относительно высокий К. П. Д. дуги (0.2 ...0.45).

Очень эффективно использовать плазменную струю для резки металла, т.к. газ из-за высокой скорости очень хорошо удаляет расплавленный металл, а из-за большой температуры он плавится очень быстро.

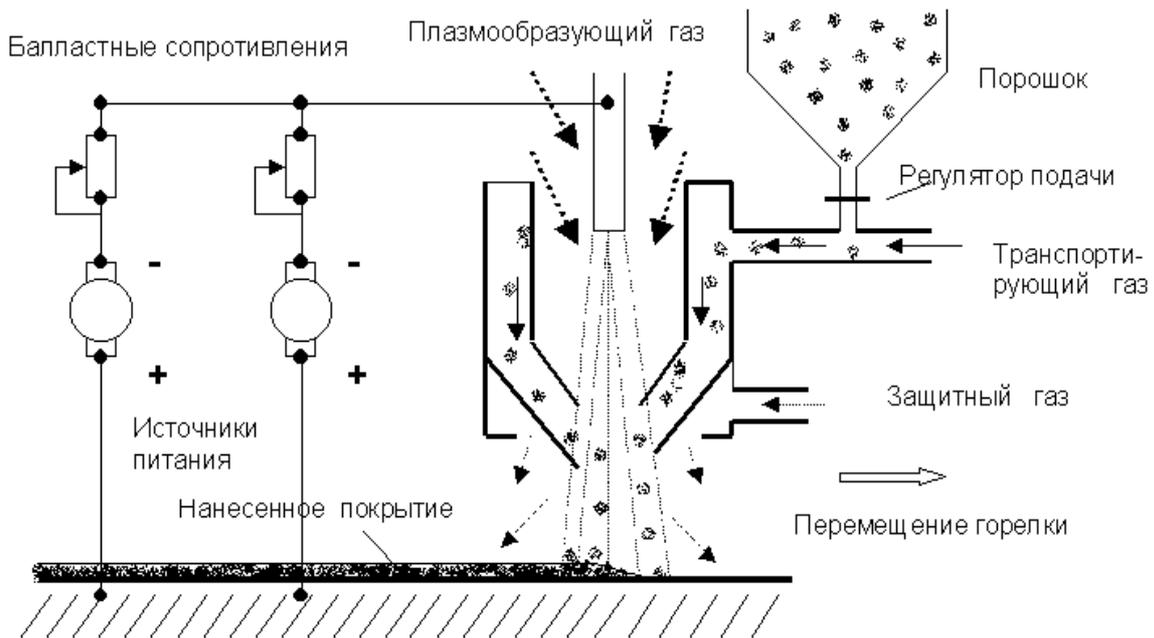
Установка (рис. 2.35) состоит из источников питания, дросселя, осциллятора, плазменной головки, приспособлений подачи порошка или проволоки, системы циркуляции воды и т.д.

Для источников питания важно выдержка постоянным произведение  $J U$ , т.к. мощность определяет постоянство плазменного потока. В качестве источников питания применяют сварочные преобразователи типа ПСО - 500. Мощность определяется длиной столба и объемом плазменной струи. Можно реализовать мощности свыше 1000 кВт.

Подача порошка осуществляется с помощью специального питателя, в котором, вертикально расположенный, ротор лопатками подает порошок в струю газа. В случае использования сварочной проволоки подача ее выполняется аналогично как и при наплавке под слоем флюса .

Путем колебания горелки в продольной плоскости с частотой 40 ...100 мин<sup>-1</sup> за один проход получают слой наплавленного металла шириной до 50 мм. У горелки имеется три сопла: внутреннее для подачи плазмы, среднее для подачи порошка и наружное для подачи защитного газа.

Рис. 2.35. Схема плазменного наплавления порошка.



При наплавке порошков реализуется комбинированная дуга, т. е. одновременно будут гореть открытая и закрытая дуги. Регулировкой балластных сопротивлений можно регулировать потоки мощности на нагрев порошка и на нагрев и оплавление металла детали. Можно добиться минимального проплавления основного материала, следовательно будет небольшая тепловая деформация детали.

Поверхность детали необходимо готовить к наплавке более тщательно чем при обычной электродуговой или газовой сварке, т.к. при этом соединение происходит без металлургического процесса, поэтому посторонние включения уменьшают прочность наплавленного слоя. Для этого производится механическая обработка поверхности (проточка, шлифование, пескоструйная обработка,...) и обезжиривание. Величину мощности электрической дуги подбирают такой, чтобы сильно не нагревалась деталь, и чтобы основной металл был на грани расплавления.

## 2.10. Контактная электрическая сварка.

Контактная сварка - это один из наиболее эффективных, экономичных, высокомеханизированных и автоматизированных способов сварки, обеспечивающих высокую прочность, качество и надежность сварного соединения и широко используемых в строительстве для сварки арматуры, трубопроводов, рельсов и т.д. Изготовление наиболее дорогих и сложных узлов легковых и грузовых автомобилей - кузовов и кабин тоже основывается на электроконтактной сварке. Многие конструктивно сложные детали в машиностроении изготавливаются путем точечной сварки штампованных из листового проката заготовок.

Способы электроконтактной сварки подразделяются на три группы (рис. 2.36) : стыковая, точечная и шовная.

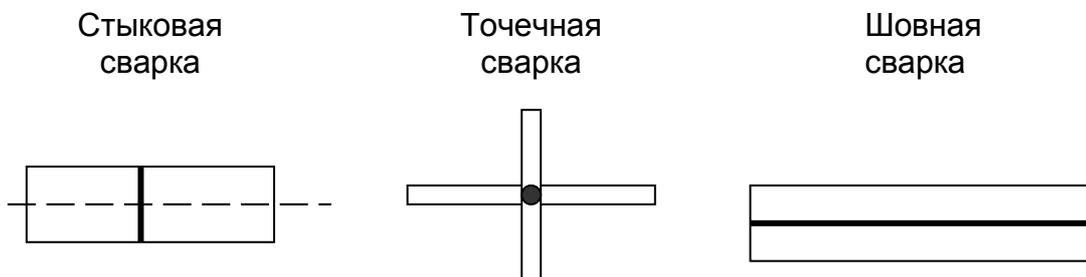


Рис. 2.36. Способы электроконтактной сварки.

Электроконтактная сварка деталей (рис. 2.37) выполняется следующим

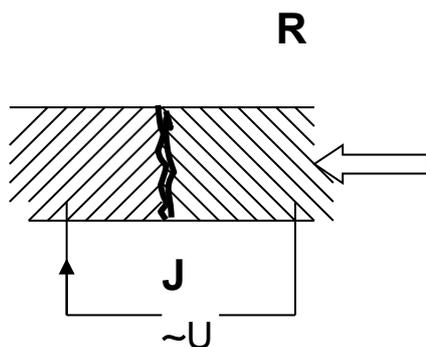


Рис. 2.37. Схема выполнения электроконтактной сварки

образом: детали сжимают усилием  $P$ , через стык их пропускается электрический ток  $J$  в течении времени  $t$ , происходит нагрев металла в зоне контакта до температуры плавления, выключается электрический ток, деталь охлаждается и кристаллизуется сварной шов, снимается нагрузка.

Количество тепла, выделившегося при прохождении электрического тока находится по формуле:

$$Q = J^2 R t, \text{ Дж.}$$

Напряжение сварки  $U$  по сравнению с электродуговой сваркой очень низкое (всего 1...6 В), а токи измеряются сотнями и тысячами А. Поэтому понижающий трансформатор конструктивно отличается от сварочных трансформаторов для электродуговой сварки: вторичная обмотка имеет от 1 до 6 витков, а сила тока  $J$  регулируется изменением количества витков первичной обмотки (рис. 2.38). Сопротивление  $R$  зависит от чистоты, шероховатости и загрязнения поверхности свариваемых деталей, электрического сопротивления материала, давления сжатия деталей и др. Время сварки  $t$  изменяется от сотых долей секунды до нескольких минут. Из-за малого времени сварки снижаются окисляемость материалов деталей и величина зоны термического влияния, поэтому при сварке будут минимальные деформации и хорошее качество наплавленного металла.

Стыковой сваркой (рис. 2.38) свариваются арматурные стержни, полосы, трубы, фланцы, швеллера, рельсы. Применяются три разновидности стыковой сварки: сопротивлением, непрерывным и периодическим оплавлением.

При сварке сопротивлением торцы свариваемых деталей тщательно

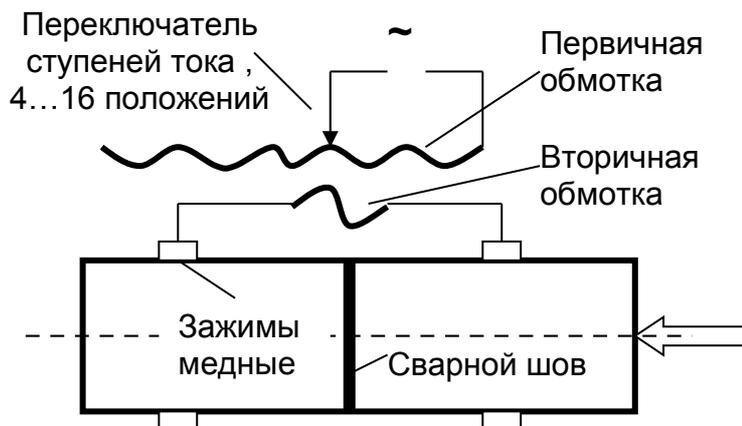


Рис. 2.38. Схема электроконтактной стыковой сварки.

обрабатывают, детали сводят до соприкосновения и включают электрический ток. После нагрева металла до пластичного состояния выключают ток и снимают нагрузку. Сваркой сопротивлением можно сваривать детали сечением до 300 мм<sup>2</sup>, например, трубы — диаметром до 40 мм.

При сварке непрерывным оплавлением после сжатия деталей производят нагрев стыка до его оплавления электрическим током. С торца выдавливается жидкий металл, а с ним окислы и загрязнения с поверхности контакта, поэтому особой подготовки детали перед сваркой не надо. После выключения электрического тока кристаллизуется расплавленный металл и образуется сварной шов. Этим способом можно сварить детали значительно большего сечения (до 3000 мм<sup>2</sup>) чем при сварке сопротивлением.

Сварка прерывистым оплавлением выполняется периодическими короткими замыканиями и размыканиями электрического тока за счет перемещения детали. При этом появляются искры и разбрызгивание металла. Этот способ сварки эффективен для легированных сталей (30ХГСА,...).

Точечная сварка используется в основном для сварки листовых конструкций, соединения пересекающихся стержней (арматура железобетонных конструкций). Суммарная толщина листов обычно не превышает 10 ...12 мм (возможна до 20 мм для листовой сварки), а других элементов до 30 мм.

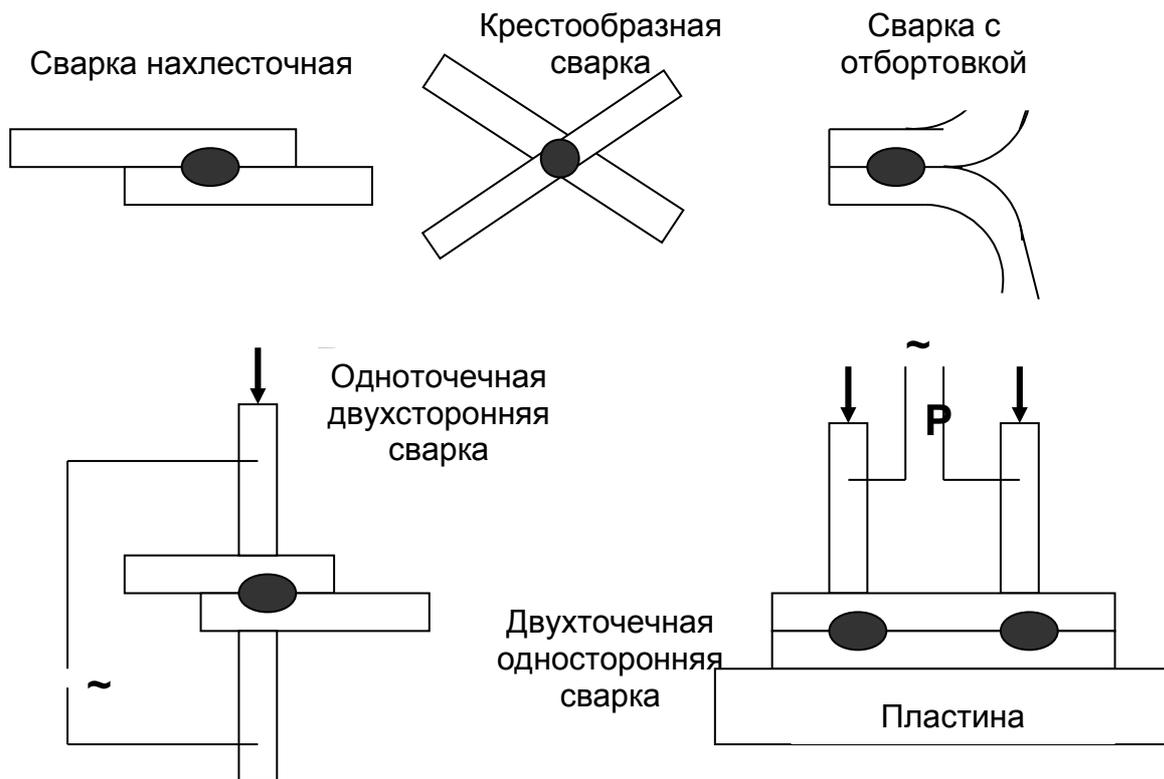


Рис. 2.39.. Способы получения точечных сварных швов .

Сварные соединения могут реализовываться по разному ( рис. 2.39) : одноточечная 2-х сторонняя; 2-х точечная односторонняя и многоточечная односторонняя. Последний способ обеспечивается аналогично как и 2-х точечная односторонняя, только в этом случае для каждой пары точек сварки необходима своя вторичная обмотка, так, например, для 40 -точечной контактной сварки необходимо 20 вторичных обмоток трансформатора.

При двухсторонней одноточечной сварке нижний электрод неподвижен, а верхний перемещается с помощью механизма сжатия (механический, пневматический или электрический привод).

После установки и сжатия (рис.2.40) деталей включается трансформатор, металл нагревается в зоне контакта до образования ядра из расплавленного металла, увеличивается нагрузка сжатия и выключается ток, кристаллизуется расплавленный металл и детали свариваются. Место контакта электрода с деталью нагревается меньше, т.к. тепло отводится через водоохлаждаемые медные электроды. Для сварки конкретных деталей могут использоваться схемы выполнения сварки, отличающиеся от схемы, представленной на рис. 2.40.

Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяются

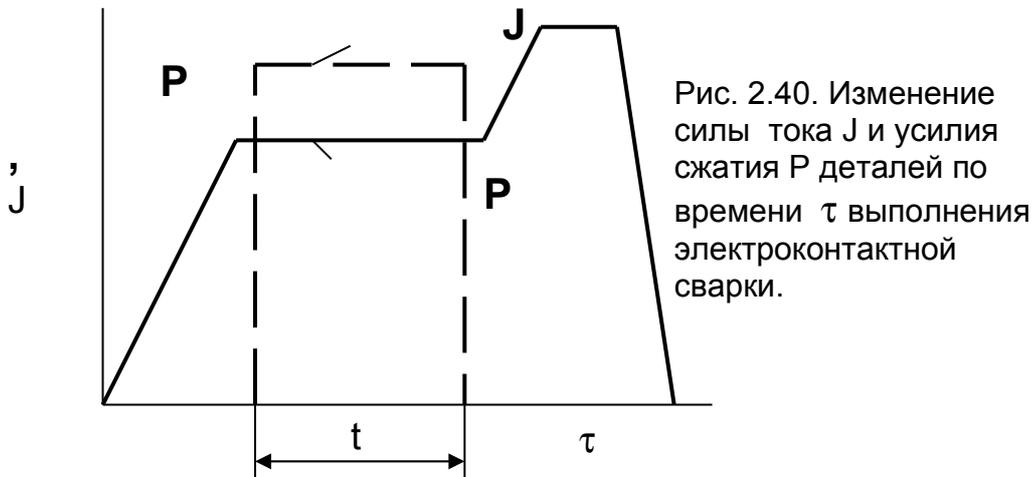


Рис. 2.40. Изменение силы тока  $J$  и усилия сжатия  $P$  деталей по времени  $\tau$  выполнения электроконтактной сварки.

мягкие режимы (большое время выдержки ( $t=0,2...3$  с и небольшая плотность тока  $J=80...160$  А/мм<sup>2</sup>), а для сварки низкоуглеродистых и высоколегированных сталей, не склонных к закалке, – жесткие режимы ( $t=0,001...0,1$  с,  $J=150...350$  А/мм<sup>2</sup>).

Разновидность точечной сварки — рельефная (рис. 2.41.). Сначала создаются холодной пластической деформацией выступы на свариваемых поверхностях, а затем детали сжимаются и через них пропускается электрический ток, т.е. производится электроконтактная сварка..

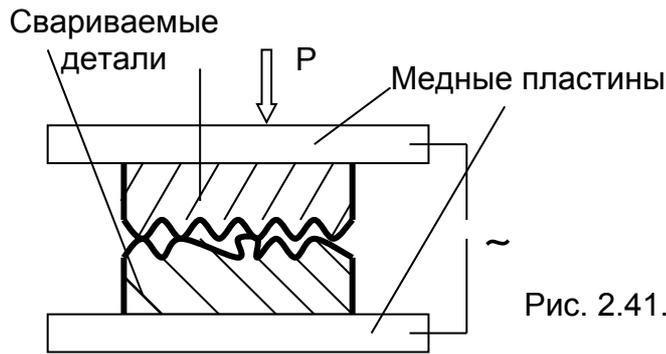


Рис. 2.41. Рельефная сварка.

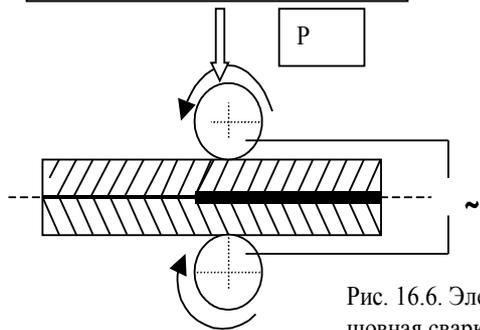


Рис. 2.42. Шовная сварка.

Рис. 16.6. Электроконтактная шовная сварка.

Шовная контактная сварка (рис. 2.42) применяется для получения прочных и герметичных швов (тонкостенные сосуды, тонкостенные сварные трубы, ...) Листы толщиной 0,3 .. 3 мм собирают внахлестку, сжимают двумя медными роликами, пропускают через них электрический ток, ролики вращаются, листы или ролики перемещаются, происходит контактная сварка. Два способа шовной сварки : непрерывная и прерывистая. При непрерывной контактной сварке изделий из малоуглеродистой стали толщиной менее 1мм выполняется непрерывная подача электрического тока. Для более толстых изделий используется прерывистая сварка: ролики вращаются непрерывно, а ток подается периодическими импульсами; образуется ряд непрерывных точек, которые перекрывая друг друга в итоге образуют сплошной сварной шов.

Конденсаторная сварка. Энергия накапливается в конденсаторах, которые разряжаются или непосредственно через изделие или через дополнительный трансформатор на изделие. Чаще всего используется второй способ. Конденсаторной сваркой соединяют металлические детали толщиной 0,005 ... 2 мм., но можно приварить тонкий металл (толщиной 0,2...0,3 мм ) к металлическим деталям большой толщины (до 10...15 мм). Конденсаторные установки имеют маленькую мощность и обеспечивают высокое качество сварных соединений.

Для повышения твердости и износостойкости рабочих поверхностей деталей и при ремонте посадочных мест под подшипники качения валов, отверстий

редукторов, коробок перемены передачи, шеек коленчатых валов двигателей широко используется электроконтактная приварка ленты, проволоки или порошка. Технология приварки ленты включает в себя: подготовку детали (шлифование до размера :  $d_n - 0,3$  мм), нарезку заготовок ленты по ширине и длине (периметру) и очистку ленты, предварительную приварку ленты в середине. Далее выполняется приварка ленты (порошка, проволоки) с помощью роликов установки электроконтактной сварки.

Тепловые деформации при этом малы, материал подбирается высокой износостойкости, обеспечивается долговечность не ниже новых деталей, исключается термическая деформация деталей.

### **2.11. Металлизация.**

*Металлизация это процесс нанесения мелких частиц металла, нагретого каким либо способом до расплавления, и распыленных газом, на поверхность детали.* Металлизация в основном используется для декоративных целей, для заделки трещин и пор в корпусных деталях и реже — для восстановления деталей. Процесс является высокопроизводительным и экономичным, позволяет наносить покрытия от долей миллиметра и до нескольких миллиметров, не вызывает тепловых деформаций (деталь нагревается не выше 200 °С).

Проволока или порошок непрерывно подаются в зону нагрева, где расплавляются, подхватываются и распыляются струей инертного газа или воздуха на частицы размером от 3 до 300 мкм, которые со скоростью 150...300 м/сек ударяются в специально подготовленную (рваная резьба, канавки, пескоструйная обработка, анодно-механическая обработка и др.) поверхность детали, где расплющиваются и заклиниваются в неровностях поверхности с образованием молекулярных связей. Величина молекулярных связей между частицами больше, чем между частицами и деталью, поэтому слабым участком является недостаточное сцепление покрытия с деталью. При полете частица окисляется и закаляется, вследствие этого покрытие имеет большую твердость и хрупкость. Из-за этого, а также особой подготовки поверхности к металлизации покрытие, имея хорошую износостойкость (поры пропитываются маслом, а поверхность имеет высокую твердость), не может работать в условиях знакопеременных нагрузок. Для сравнения, усталостная прочность покрытия, нанесенного металлизацией в 15...20 раз ниже, чем у электролитических покрытий. Использование некоторых приемов

( плазменный нагрев поверхности до температуры сплавления металла и частиц, шовная электроконтактная сварка,...) дает возможность применять металлизацию в производстве.

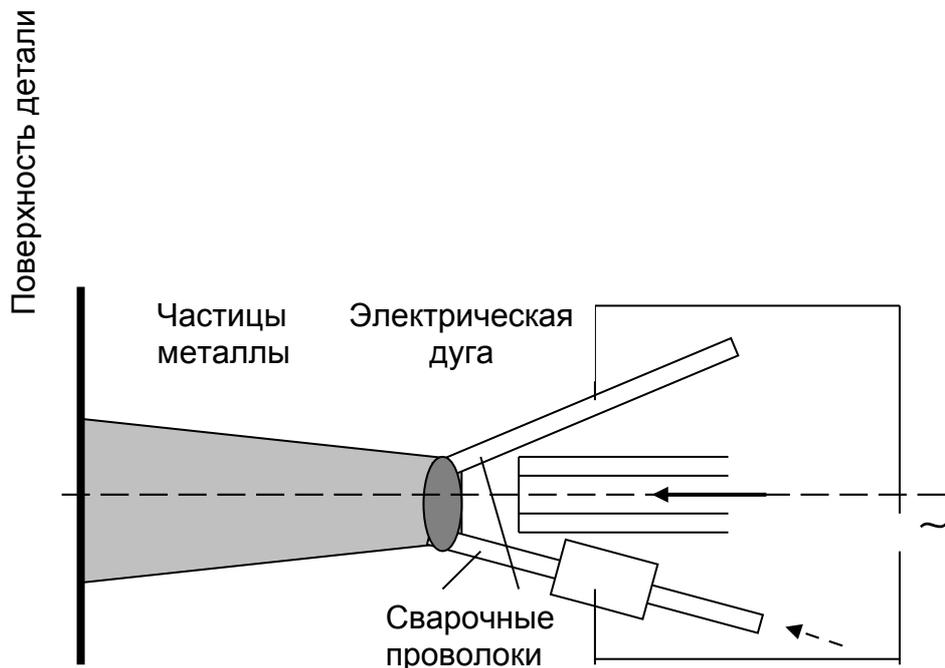


Рис. 2.43. Схема электродуговой металлизации

Металлизация в зависимости от способа расплавления металла разделяется на газовую, электродуговую, высокочастотную и плазменную.

При электродуговой металлизации (рис. 2.43.) две изолированные проволоки подаются с одинаковой скоростью, между ними возбуждается электрическая дуга, металл плавится, газ распыляет металл и подает частицы металла к детали.

При газовой металлизации (рис. 2.44) чаще всего используется ацетилено-кислородное пламя, которое расплавляет сварочную проволоку, а сжатый воздух или инертный газ распыляет и наносит частицы на поверхность. При газовой металлизации получается мелкий распыл, но оборудование относительно сложнее, чем при электродуговой металлизации.

Электродуговая металлизация это высокопроизводительный процесс, однако разбрызгивается металла до 40...60%.

Нагрев и расплавление проволоки при индуктивной металлизации выполняются индуктивным нагревом её токами высокой частоты (200...300 КГц). При индуктивной металлизации по сравнению с электродуговым процессом увеличивается производительность, уменьшаются затраты электроэнергии и угар металла.

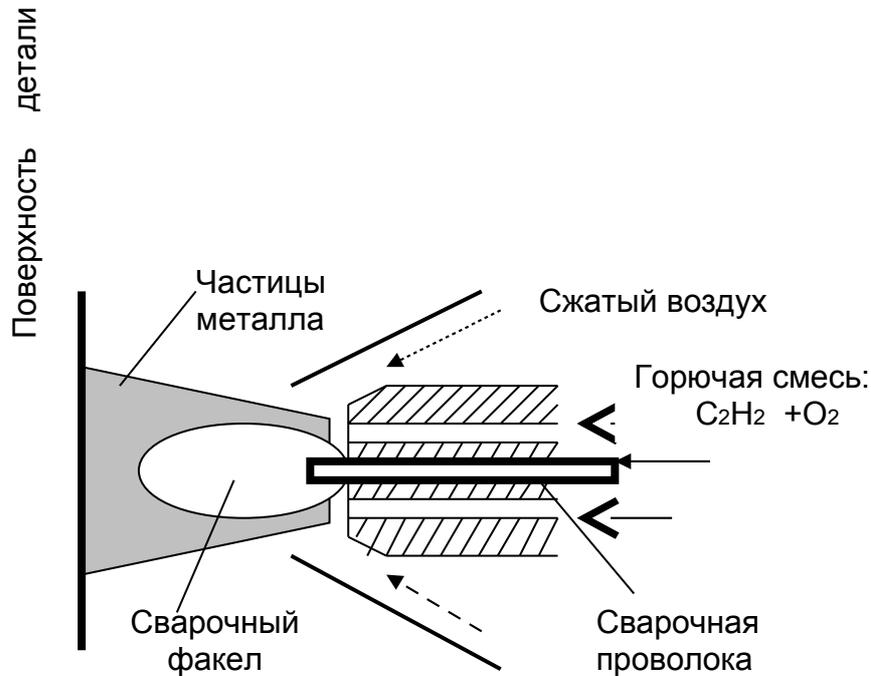


Рис. 2.44. Схема газовой металлизации.

Плазменная металлизация дает наилучшее сцепление покрытия, высокую производительность и возможность напыления износостойких тугоплавких материалов (окись алюминия, карбиды и др.), возможность нанесения покрытия на большинство материалов, даже на неметаллы. Металлизация может производиться порошком или проволокой. При наплавке порошком используется комбинированная дуга, а при наплавке проволокой различные схемы, в том числе анодом может быть проволока.

## 2. 12. Пайка и заливка металлов.

Пайка является широко распространенным процессом, как при изготовлении, так при ремонте деталей. Этот способ известен людям уже 3...5 тысяч лет. При раскопках находят паянные медно - серебряным припоем трубы, украшения, оружие. Пайка является незаменимым процессом в радиоэлектронике, самолето- и ракетостроении, автотракторостроении. С помощью пайки

изготавливаются радиаторы, трубопроводы, электрооборудование и др. Процесс пайки легко поддается механизации и автоматизации.

*Пайкой называется процесс соединения металлических поверхностей, находящихся в твердом состоянии, расплавленными припоями, которые заполняют зазор между поверхностями и образуют паянный шов при кристаллизации.*

Пайка выполняется в следующей последовательности: нагрев спаиваемых деталей до температуры, близкой к температуре плавления припоя; расплавление припоя и нанесение его на предварительно обработанные детали; заполнение припоем шва; растворение основного металла в расплавленном шве и взаимная диффузия металлов, кристаллизация шва.

Для выполнения пайки необходимо, чтобы частицы расплавленного припоя вступали в прочный контакт с поверхностями соединяемых деталей. Капля расплавленного припоя растекается (рис. 2.45) по поверхности до определенного предела. Пайка возможна, когда припой хорошо смачивает твердое тело. Если жидкость не смачивает твердое тело, то пайка невозможна. Хорошего смачивания можно добиться соответствующей подготовкой поверхности (механическая обработка для удаления окислов, обезжиривание для удаления жировых загрязнений) и подбором припоя и флюса. При хорошем смачивании заполняются все зазоры и поры и обеспечивается прочное соединение деталей.

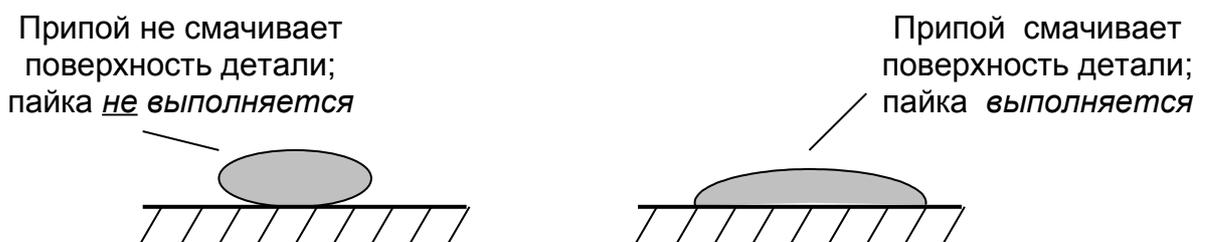


Рис. 2. 45. Смачивание поверхности детали припоем.

Хотя процесс пайки является в некоторой степени родственным сварке, но имеет ряд отличий:

1 . При пайке не плавится основной металл, а только припой, в то же время при сварке плавится свариваемый и присадочный материал. Шов образуется без расплавления кромок паяемых деталей.

2 Образование шва при пайке происходит за счет заполнения расплавленным припоем капиллярного зазора между поверхностями и взаимной диффузии металлов.

Прочность соединения деталей при пайке ниже чем при сварке, но во многих случаях является достаточной для конкретных изделий. При этом пайка имеет некоторые технологические преимущества перед сваркой:

1. Дает возможность соединения разнородных металлов и даже металла с неметаллом.
2. Температура нагрева детали при пайке значительно ниже, чем при сварке, то при пайке нет значительных остаточных деформаций и не происходит коробления, не расплавляются кромки и не изменяется структура и механические свойства соединяемых деталей.
3. Простота технологического процесса, хорошие условия для автоматизации и механизации пайки, высокая производительность труда.

Существуют следующие методы пайки :

1. Капиллярная пайка. Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями. Припой и металл при этом химически не взаимодействуют. Это наиболее распространенный метод пайки.
  2. Диффузионная пайка — длительная выдержка при высокой температуре. Происходит упрочнение шва за счет взаимной диффузии компонентов припоя и основного металла. Химического взаимодействия нет, образуется твердый раствор.
  3. Контактно-реактивная пайка. В этом случае между соединяемыми деталями или между деталями и припоем протекают активные реакции с образованием в контакте легкоплавкого соединения.
  4. Реактивно-флюсовая пайка. Шов образуется за счет реакции вытеснения между флюсом и основным металлом.
  5. Пайка — сварка, шов образуется способами сварки, но в качестве присадочного материала используется припой.
- Выбор методов пайки определяется химическими свойствами припоя, флюса и металла и режимом пайки (температура, время и т.д.) В зависимости от источника тепла осуществляется пайка следующими способами :

- 1-пайка в печах ;
  - 2-индукционная пайка ;
  - 3-пайка сопротивлением ;
  - 4-пайка погружением в расплавленный припой ;
  - 5-пайка паяльниками ;
  - 6-пайка газовыми горелками.
- В качестве припоя используются чаще всего сплавы металлов.

Основные требования к припоям :

1. Иметь температура плавления как минимум на 50...100 °С ниже температуры плавления паяемых металлов.
2. Обеспечивать хорошее смачивание металла и хорошее заполнение шва пайки.

3. Образовывать прочные, пластичные и коррозионно- устойчивые швы.
4. Иметь коэффициент линейного расширения не отличающийся резко от коэффициента линейного расширения паяемых металлов.

Припои делятся на две группы: мягкие, температура плавления которых ниже 500 °С, и твердые - выше 500 °С.

Мягкая пайка дает относительно невысокую механическую прочность, используется для деталей, работающих при невысокой температуре и небольших вибрационных ударных нагрузках: радиаторы, топливные баки, электрические провода и т.д. Наиболее распространенные оловянно-свинцовые (олово в чистом виде как припой не используется) припои ( цифра в названии припоя означает содержание в нем олова): ПОС-18 (17...18% олова, 2...2,5% сурьмы и 79...81% свинца) используется для пайки неответственных деталей ; ПОС-30 и ПОС-40 — для швов, имеющих достаточную прочность и надежность, ПОС-50 и ПОС-61 — для деталей, швы у которых не должны окисляться при работе (электрооборудование и др.).

Твердая пайка выполняется в том случае, когда необходимо иметь прочный шов или шов, работающий при высоких температурах (топливо- и маслопроводы, контакты реле,...). К твердым припоям относятся : медные, медно-цинковые, латунные, алюминиевые и серебряные. Медно-цинковые припои (первая цифра в названии припоя означает содержание меди в припое, остальное цинк и небольшое количество примесей): ПМЦ-36 — для пайки латунных изделий; ПМЦ-48 — для деталей из медных сплавов, не подвергающихся ударным нагрузкам и изгибу; ПМЦ-54 — для пайки меди, бронзы и стали, не подвергающихся ударным нагрузкам.

Для получения эластичного и прочного соединения используются в качестве припоев латуни Л-62 и Л-68. (сплав меди с цинком — до 80% , с добавками алюминия, свинца, никеля — до 10%).

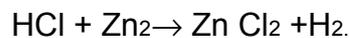
Для пайки ответственных конструкций используются серебряные припои : ПСр-12 ( 12%серебра, 36%меди, не более 1,5% примесей, остальное цинк); ПСр-45 для пайки латуни, меди и бронзы (контакты проборов электрооборудования); ПСр-70 для пайки электрических проводов, требующих низкого электрического сопротивления в местах пайки.

Для пайки деталей из алюминия и его сплавов используются алюминиево-кремниевые припои (силумины) и алюминиево - медные сплавы (34А и 35А).

Припой 35А имеет более высокие механические качества и выше температуру плавления, чем 34А.

Для удаления с поверхности окисных пленок и защиты их от дальнейшего окисления служат флюсы, которые или растворяют окислы, или химически взаимодействуют с окислами и которые в виде шлака всплывают на поверхность шва. Также флюсы способствуют улучшению смачивания поверхностей припоем. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя.

При пайке мягкими припоями применяются нашатырь (или хлористый аммоний), водный раствор хлористого цинка и хлористого аммония с концентрацией 20...50%. Соляную кислоту в качестве флюса не используют, а применяют водный раствор хлористого цинка, который получают травлением водного раствора соляной кислоты цинком:



Для исключения дальнейшей коррозии паяных деталей применяют канифоль, которую необходимо наносить на место пайки, но не на паяльник, т.к. при перегреве на паяльнике она может потерять свои флюсующие свойства.

При пайке твердыми припоями в качестве флюса используют буру или смесь её с борной кислотой и борным ангидридом. Подбором количества борного ангидрида изменяют температуру плавления флюса.

Паяние деталей мягкими припоями выполняется чаще всего с помощью паяльников (медных и электрических), а твердыми припоями — газовыми горелками или индукционным нагревом. Рабочая часть паяльника натирается нашатырем для удаления окислов, облуживается. Поверхность шва обезжиривается флюсом, паяльником расплавляется и переносится припой на место пайки и равномерно распределяется по ней.

Детали ходовой части строительных и дорожных машин имеют очень большой износ. В этом случае для восстановления их целесообразно применять заливку жидким металлом (литейную сварку), т.к. другие способы (автоматическая наплавка, постановка бандажей и т.д.) не дают хорошего качества и очень дороги.

Деталь нагревают и помещают в кокиль, тоже нагретый до 200...250 °С. Через летники заливают в кокиль жидкий чугун или сталь, которые заполняют пространство между изношенной деталью и стенкой кокиля, происходит сварка металла, компенсирующая износ. Для деталей ходовой части последующей механической обработки не требуется. По сравнению с другими способами

стоимость восстановления снижается в два ...три раза, а долговечность находится на уровне новой детали.

### **2.13. Газовая сварка и наплавка.**

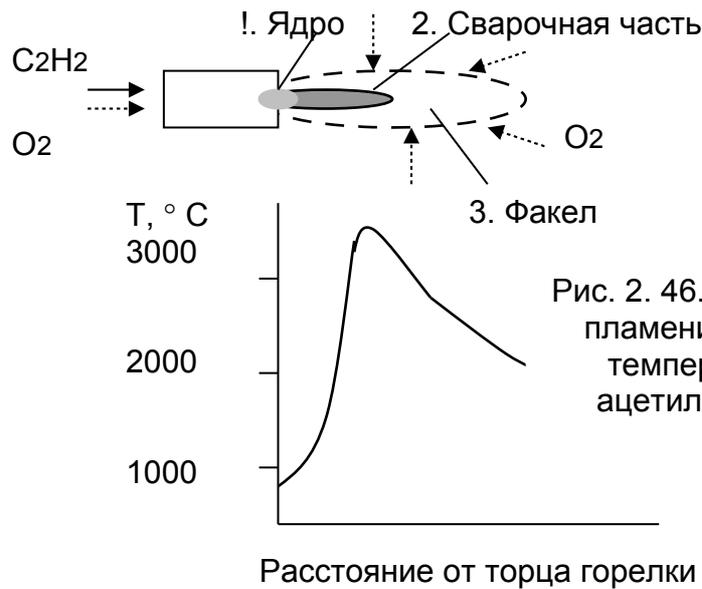
Источником тепла при газовой сварке является пламя, получаемое при сгорании горючих газов в технически чистом кислороде. В качестве горючих газов применяются ацетилен, природный газ, пропан-бутан, пары бензина и керосина и др. Из-за простоты выполнения сварки и получения высокой температуры пламени чаще всего используется ацетилено-кислородная сварка.

Газовая сварка и наплавка уступает электродуговой по следующим позициям.

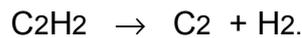
1. Большая зона теплового влияния приводит к большим деформациям детали при сварке.
2. Расходы на газ выше, чем расходы на электроэнергию.
3. Трудность механизации и автоматизации.
4. Ниже по производительности, т.к. максимальная температура в зоне горения газа (ацетилена) - 3150 °С, а в зоне горения электрической дуги-6000 °С .
5. Взрывоопасность горючих газов и кислорода.

Несмотря на эти недостатки газовая сварка широко используется при ремонте машин, т.к. эффективна при сварке тонколистового материала кабин, кузовов, баков и радиаторов, чугунных и алюминиевых деталей, при ремонте и монтаже трубопроводов. Достоинствами газовой сварки являются простота и высокая транспортабельность оборудования, возможность выполнения работ при отсутствии электросети, удобство регулирования процессом во время сварки. Немаловажной является возможность использования газового пламени для пайки и резки металлов.

Ацетилено-кислородная сварка выполняется (рис. 2.46) при сгорании ацетилена в кислороде, подаваемом из кислородного баллона, и в кислороде, имеющемся в воздухе.



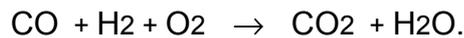
В 1-ой зоне, в так называемом ядре, смесь подогревается до воспламенения и происходит частичный распад молекул ацетилена :



Во 2-ой зоне, называемой сварочной частью, происходит сгорание ацетилена в чистом кислороде, подаваемом из баллона:



В 3-ей зоне, называемой факелом, догорает ацетилен в кислороде воздуха:



В зависимости от подачи кислорода можно получить нормальное, окислительное и науглераживающее пламя. При нормальном пламени горючее сгорает полностью; для этого требуется соотношение кислорода с ацетиленом 2,5 : 1, причем из баллона поступает 1,1...1,15 его часть, а остальной кислород -из воздуха. Окислительное пламя ( избыток кислорода) используется для резки металлов и для сварки латунных деталей. Науглераживающее пламя (при избытке ацетилена в газовой смеси) применяется при сварке чугуна, алюминия и малоуглеродистых сталей.

Кислород получают ( рис. 2.47) методом глубокого охлаждения воздуха

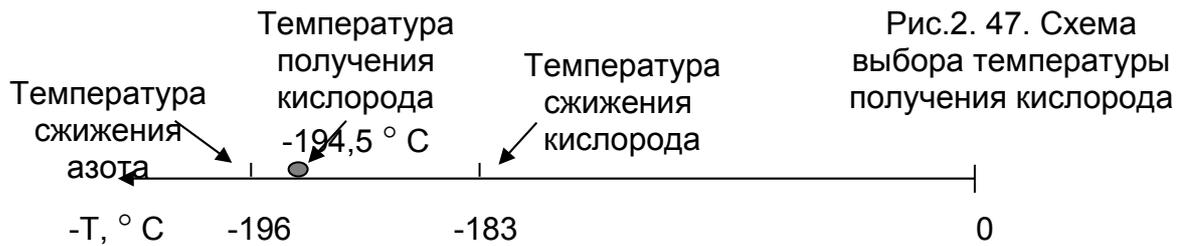


Рис.2. 47. Схема выбора температуры получения кислорода

до температуры  $-194,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этой температуре кислород уже будет в жидком состоянии ( температура сжижения его  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а азот будет еще в газообразном состоянии, т. к. температура сжижения у него еще ниже ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Кислород хранится в баллонах (голубой или синий цвет окраски ) при начальном давлении 15 МПа . Чаще всего используются 40 литровые, а при небольших объемах работ - 5-и и 10-и литровые баллоны. Перед работой на баллон ставят кислородный редуктор, с помощью которого устанавливается и автоматически во время работы поддерживается давление кислорода , подаваемого в газовую горелку ( 0.2...0,4 МПа) или кислородный резак (1,2...1,4 МПа).

Масла и жиры в атмосфере кислорода могут *самовзгораться*, поэтому при работе нужно соблюдать особую предосторожность: не допускать на рабочем месте грязных тряпок и замасленной ветоши , работать в не замасленных рукавицах.

Ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$  получают взаимодействием карбида кальция  $\text{CaC}_2$  с водой:



Из 1 кг технически чистого карбида кальция получается 230...300 литров ацетилена.

Ацетиленовые генераторы выполняются по различным схемам:

1. «Карбид в воду»-карбид кальция из бункера в зависимости от давления ацетилена периодически поступает через питатель в воду. Эти генераторы наиболее производительны и наименее взрывоопасны.

2. «Вода на карбид» - в реторту с карбидом кальция подается вода в зависимости от давления ацетилена. Эти генераторы небольшой производительности, переносные, низкого давления.

3. «Погружением» и «вытеснением»- в зависимости от давления ацетилена в первом случае при превышении давления из воды поднимается корзина с карбидом кальция, а во втором – вода вытесняется от карбида кальция в соответствующий сосуд. Это тоже небольшой производительности и переносные генераторы.

4. Комбинированные схемы.

Для предохранения ацетиленовых генераторов от взрыва при обратном ударе пламени используются предохранительные водяные затворы.

По давлению ацетиленовые генераторы делятся на:

- низкого давления (0,001...0,01 МПа);
- среднего давления (0,01...0,15 МПа);
- высокого давления ( > 0,15 МПа).

Ацетилен в сжатом состоянии (3,5 МПа ) может храниться в 40, 10 и 5- и литровых баллонах (белый цвет окраски ). Так как ацетилен взрыво- и пожароопасен, то необходимы специальные меры хранения его. Ацетилен очень хорошо растворяется в ацетоне( 23:1) и в растворимом состоянии не взрывается при давлении до 1,6 МПа, а при наличии в баллоне пористой массы ( активированный уголь, пемза,...) не взрываются при очень высоких давлениях (свыше 16 МПа). Очень эффективным является использование в баллонах литой пористой массы (ЛПМ). Кроме повышенной взрывоопасности 40-литровые баллоны с массой ЛПМ вбирают до 7,4 кг ацетилена, а с активированным углем –только 5 кг.

По принципу смешивания газов сварочные горелки могут быть: инжекторные и безынжекторные. В инжекторных горелках кислород под давлением 0,2...0,4 МПа через регулировочный вентиль подается в инжектор, через продольные пазы которого подсасывается ацетилен, расход которого также регулируется вентилем. У горелок имеется до 9 сменных наконечников, позволяющих сваривать металлические детали различной толщины. *Чем больше номер наконечника, тем больше диаметр проходного сечения горелки и, следовательно, будет больше расход газа, поэтому можно сваривать детали большей толщины.* В зависимости от толщины детали выбирается диапазон расхода газа (*номер горелки*), а в процессе сварки вращением ацетиленового вентиля горелки более точно подбирается оптимальная мощность горения, а вентилем подачи кислорода - необходимый вид пламени ( нейтральное, окислительное или восстановительное). В безынжекторных горелках горючий газ и кислород подаются под одинаковым давлением (0,05...0,1 МПа) в смесительную камеру, выходят из мундштука и сгорают. Эти горелки менее универсальны, сложны в регулировании процесса и используются для сварки очень тонкого материала.

Технология газовой сварки.

Диаметр присадочной проволоки  $d$  выбирается в соответствии с толщиной свариваемого металла  $h$  :

$$d = h/2 + 1, \text{ мм.}$$

Мощность горелки подбирается в зависимости от толщины  $h$  свариваемых деталей и теплопроводности  $k$  материала. Часовой расход ацетилена  $A$  находится по формуле:

$$A = k h, \quad \text{л/ч,}$$

где  $h$  - толщина детали в мм;

$k$  - коэффициент удельного расхода ацетилена в литрах за времени сварки (час) на единицу толщины детали, л/ч  $\times$  мм ( $k=100\dots120$  л/ч  $\times$  мм - стальные детали;  $k=110\dots140$  л/ч  $\times$  мм - чугунные детали;  $k=60\dots100$  л/ч  $\times$  мм - алюминиевые детали).

При увеличении толщины свариваемого металла надо обеспечить

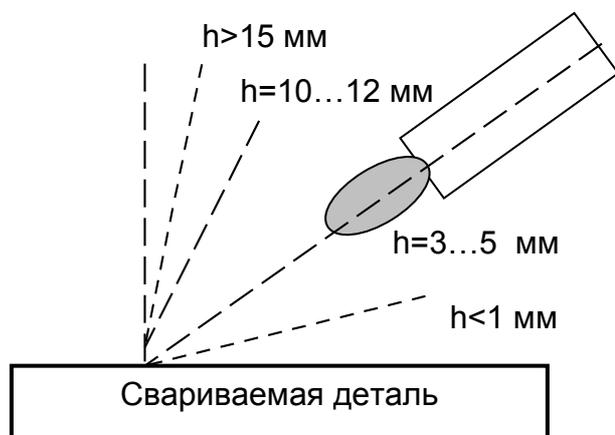


Рис. 2.48. Изменение углов наклона горелки в зависимости от толщины свариваемой детали.

большую концентрацию тепловой энергии и, следовательно, больший угол наклона горелки (рис. 2.48) к поверхности свариваемой детали.

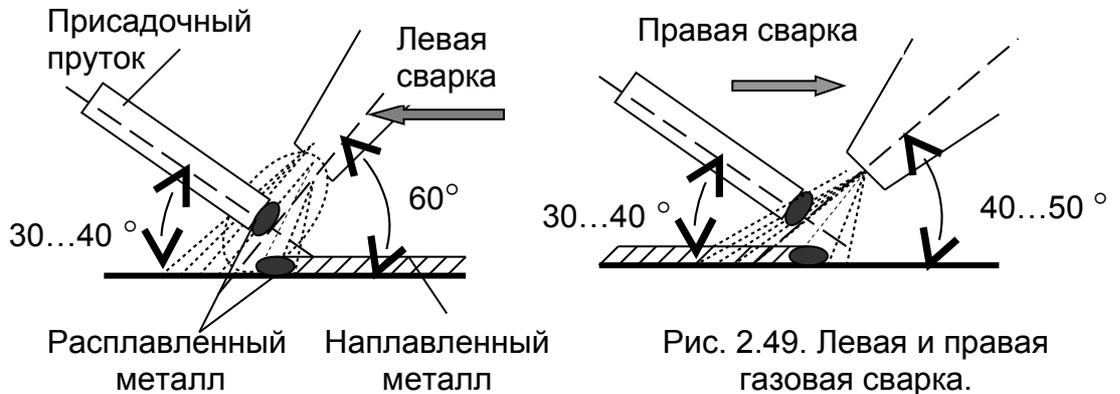
По часовому расходу газа подбирается (табл 2.1) номер наконечника газовой горелки.

Табл 2.1).

Выбор наконечников газовой горелки.

| Номер горелки | Часовой расход топлива, л/ч | Номер горелки | Часовой расход топлива, л/ч |
|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 0             | 20...65                     | 5             | 660...1100                  |
| 1             | 50...125                    | 6             | 1700...2800                 |
| 2             | 120...240                   | 7             | 1700...2800                 |
| 3             | 230...400                   | 8             | 3100...5000                 |
| 4             | 400...700                   | 9             | 5000...8000                 |

При  $h < 3$  мм используется левая (рис. 2.49) сварка (горелка движется справа налево  $\leftarrow$ ). Этот способ используется для тонколистового материала; обеспечивается хороший внешний вид сварного шва, т. к. пламя не препятствует наблюдать за зоной сварки.



При  $h > 5$  мм используется правая (рис. 2.49) сварка (горелка движется слева направо  $\Rightarrow$  впереди присадочной проволоки). При этой сварке обеспечивается глубокое проплавление и высокая производительность, качественный шов из-за лучшей защиты расплавленного металла пламенем горючего газа и медленного остывания сварного шва, малая величина зоны термического влияния и меньшие деформации изделия.

Газопрессовая сварка – разновидность газовой сварки. Металл детали нагревают пламенем многосопловой горелки до перехода его в пластическое состояние ( $1200 \dots 1300$  °С) и сваривают путем приложения удельной нагрузки  $15 \dots 25$  МПа. Таким образом, можно соединять трубы, рельсы и др.

## 2.14. Резка металлов.

При изготовлении строительных конструкций, при монтажных работах и ремонте машин необходимо разрезать сортовой прокат, элементы конструкций, детали машин. Используются следующие способы резки.

### 1. Механические:

- ручные (зубило, ножовка, ножницы по металлу, ...);
- механизированные (фреза, резец, сверло, механическая ножовка, штамп, отрезной круг, механические ножницы-«гильотины», ...).

### 2. Электродуговая резка.

3. Газовая (кислородная) резка.

4. Плазменная резка.

Ручные способы резки металлов применяются в основном в бытовых условиях. При небольших объемах работ эффективно использование отрезных (бакелитовых и др. ) кругов: шов получается ровный, нет деформаций металла, но относительно низкая производительность процесса и требуются повышенные меры безопасности при резке металлов. При резке в условиях строительной площадки, при монтаже и демонтаже конструкций наиболее эффективна кислородная резка. На машиностроительных заводах и заводах строительных конструкций применяются в основном штампы для листовой штамповки металла и «гильотины» для разделки проката ( листов, круга, шестигранника, швеллера,...).

Использование электродуговой резки не рационально, т.к. процесс резки малопроизводителен и получается плохое качество реза, поэтому во многих случаях необходима последующая механическая обработка реза. Следовательно, электродуговую резку можно использовать при малых объемах работ, когда одновременно проводится изготовление конструкции и подготовка элементов для сварки, т. е. в случаях организационных трудностей применения более эффективной резки параллельно с электродуговой сваркой.

*Газовой резкой называют процесс сжигания металла в струе кислорода и удаление этой струей образовавшихся окислов.*

Чаще всего используется кислородно-ацетиленовая резка. Процесс идет в следующей последовательности.

1. Металл сначала нагревается до температуры вспышки его в атмосфере кислорода:



2. Подается струя режущего кислорода, образуются окислы металлов и выделяется при окислении металла тепло:



3. Окислы металлов плавятся и выдуваются струей кислорода.

На плавление окислов ( пункт 3 ) затрачивается тепло Q, но одновременно с плавлением происходит образование окислов (пункт 2) , сопровождаемое выделением тепла Q, поэтому процесс резки поддерживается непрерывно.

Ацетилен при нормальной резке необходим только для воспламенения металла (пункт 1. Доведение температуры его до температуры вспышки ). После

начала резки открывают вентиль подачи режущего кислорода и закрывают вентили подачи ацетилена и кислорода подогревающего пламени.

Процесс кислородной резки металла получается более экономичным по сравнению с процессом плавления металла, т.к. температура плавления окислов ниже температуры плавления металла.

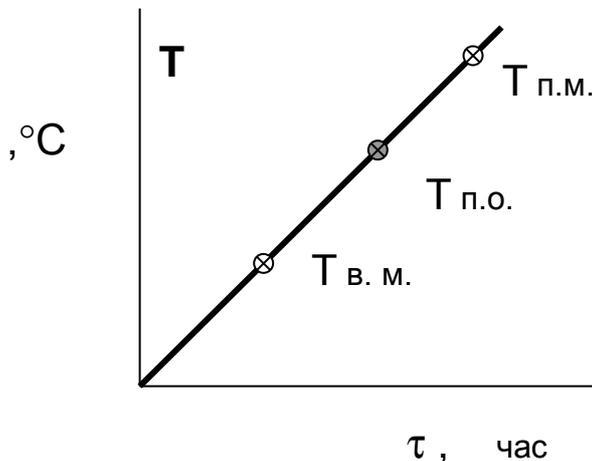


Рис. 2. 50. Схема, показывающая возможность кислородной резки металла (сплава).

Не все металлы можно разрезать кислородной резкой, а только в случаях, когда выдерживаются, указанные на рис. 2.50 и ниже, условия:

1. Температура плавления металлов  $T_{п.м.}$  должна быть выше температуры воспламенения  $T_{в. м.}$  их в атмосфере кислорода.
2. Пленка образовавшихся окислов не должна препятствовать дальнейшему окислению металла.
3. Количество выделяющейся теплоты должно быть достаточным для поддержания процесса резки.
4. Не должна быть высокая теплопроводность металла, чтобы не прерывался процесс.
5. Образовавшиеся окислы должны легко выдуваться кислородной струей.

Из этих условий следует, что *легко режется технически чистое железо и малоуглеродистая сталь*. При содержании углерода более 0,7% процесс резки затруднен, т.к. у этих сплавов температура воспламенения металла достигает значений температуры его плавления. Также трудно режется легированная сталь, содержащая более 5% легирующих элементов .

Возможность резки легированной стали можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + 0,15 ( Cr + Mo ) + 0,14( Mn + V ) + 0,11 Si + 0,045( Ni + Cu ) < 0,54 ,$$

в которой указано содержание химических элементов в сотых долях %.

В случае превышения значений  $S_{экв}$  значениям, указанным в таблице 2.2, необходимы дополнительные технологические мероприятия, направленные на соответствующее обеспечение температурного режима сварки.

Таблица 2.2.

Технологические особенности кислородной резки высокоуглеродистых и легированных сталей .

| Значение $S_{экв}$ | Технологические особенности процесса резки   |
|--------------------|--|
| менее 0,54         | Без технологических ограничений, зимой для сложных контуров подогрев до 150 °С.    |
| 0,54...0,7         | Предварительный или сопутствующий подогрев до 150...250 °С, охлаждение на воздухе. |
| 0,7...0,94         | Предварительный подогрев до 250...300 °С, медленное охлаждение после резки         |
| более 0,94         | Предварительный подогрев до 350 °С, последующее медленное охлаждение в печи.       |

Чугуны, высокохромистые стали, медные и алюминиевые сплавы не поддаются нормальному процессу кислородной резки по ряду причин (табл. 2.3).

Таблица 2.3.

Причины затрудненной резки некоторых сплавов.

| Наименование сплавов                | Основные причины затрудненной резки  |
|-------------------------------------|--|
| Чугуны                              | Высокая температура воспламенения сплава $T_{в.м.} \cong T_{п.м.}$   |
| Хромистоникелевые и хромистые стали | Высокая температура плавления окислов (тугоплавкие пленки)   |
| Алюминиевые сплавы                  | Очень высокая температура плавления окисла $Al_2O_3$   |
| Медные сплавы                       | Из-за высокой теплопроводности сплавов большие потери тепла, а оставшегося тепла недостаточно для обеспечения процесса резки |

Применяются три способа кислородной резки металлов :

1. Разделительная для получения сквозных резов при раскрое листов, вырезки заготовок из сортового проката, фланцев и т.д. На нижней части шва образуется «грат»-приваренные окислы, шлаки. Безгратовая резка получается при использовании кислорода высокой (0,995) степени очистки.

2. Поверхностная грубая стружка или обточка металла при разделке металла под сварные швы, получение канавок и пр. Струя газа направляется под углом 10...30 ° к поверхности.

3. Резка кислородным копьем для получения отверстий в металле.

Резка может выполняться вручную и машинным способом.

Наконечник газового резака образует прямой угол со стволом (у газовой горелки направлен под острым углом, см. рис. 2.48 и 2.49), в мундштуке центральное отверстие служит для подачи режущего кислорода

В полуавтоматах перемещение резака выполняется автоматически. Используются для этого копиры, магнитные контуры, фотоэлектронное копирование контура и др. Имеются современные комплексы с программным управлением и оптимизацией процесса разметки и резки металла.

Кислородно-флюсовая резка используется для резки высокохромистых и высоколегированных сталей, чугунов, меди, латуни, т.е. для материалов, при резке которых недостаточно выделяется тепла при их окислении.

В зону горения дуги вводятся порошкообразные флюсы, имеющие в своем составе до 95 % железную основу. При сгорании флюса образуется дополнительное тепло при окислении железа, находящегося во флюсе, поэтому тугоплавкие окислы расплавляются и частицами флюса они удаляются с поверхности реза.

Добавка флюсов также приводит к переводу некоторых тугоплавких окислов в более легкоплавкие соединения. Флюс подается из бункера вместе с режущим кислородом через мундштук или по дополнительной трубке.

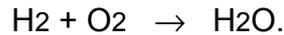
Фторная резка используется для резки высоколегированных сталей, титана, полупроводников.

Фтор сгорает в водороде:



возникает высокая температура, которая и обеспечивает резку тугоплавких материалов.

При подводной резке используется водородно-кислородный резак (сжигается водород в атмосфере кислорода) :



Горелку зажигают на воздухе, или под водой электронным способом. При резке под водой также эффективно применяется бензино-кислородная резка.

Для повышения производительности электродуговой резки иногда используется воздушно-дуговая или кислородно-дуговая резка. Металл расплавляется электрической дугой, а удаляется и сжигается струей воздуха или кислорода, подаваемого в зону горения электрической дуги.

Плазменная резка выполняется открытой плазменной струей (рис. 2.34). В этом случае будет более высокая температура нагрева металла, чем при закрытой или комбинированной плазменной струе.

## 2. 15. Сварка стальных строительных конструкций.

Первые металлические конструкции выполнялись с помощью клепки. Инженером Шуховым Б.Г в 1883 году в г. Баку был предложен первый цилиндрический резервуар для нефтепромыслов. Далее им были созданы перекрытия зданий Нижегородской выставки, ГУМа в Москве, мартеновских цехов, мостов и др.

Началом применения сварки в строительстве является 1920 год, когда в г. Владивостоке была сварена строительная ферма длиной 25 м.

В начале 30-х годов стали проводиться планомерные научно-исследовательские работы в области сварки строительных конструкций. Были разработаны конструкции сварных ферм, колонн, подкрановых балок и др. В 30...40-х годах были разработаны и построены сварные каркасы зданий мартеновских и конверторных цехов (Новокузнецкий, Магнитогорский и Макеевский металлургические комбинаты, завод «Азовсталь» и др.)

В 1930 г в Магнитогорске были сварены газопроводы горячего дутья и воздухонагреватели доменные. В 1941 г. Шуховым В.Г. был построен первый 11-и км нефтепровод.

Первые стальные резервуары емкостью 300 м<sup>3</sup> были построены в 1929 г. тоже Шуховым В. Г. Начиная с 1938 г сварные резервуары более 5000 м<sup>3</sup> широко применяются в нефтяной промышленности. В 1950-х годах был разработан индустриальный метод изготовления резервуаров (на заводе сваривают и сворачивают в рулоны полотна днища и стенок резервуара. На строительной площадке рулон разворачивают и сваривают между собой. Кровля также может изготавливаться на заводе в виде отдельных элементов.

В 1939 г. был построен первый арочный цельносварной железнодорожный мост через реку Исеть (140 м длиной). Однако конструктивно сварные мосты не были достаточно обоснованы по выбору основного и сварочного материала, по условиям внешнего воздействия. Поэтому часто применялись клепанные мосты. В 1946 г были разработаны серии пролетов мостов сварных автодорожных (21,6 м; 32,4 м; 42,5 м) и клепано-сварных (52,5 м и 83,2 м). Мосты конструировались из стали повышенной прочности и с предварительным напряжением.

С 1948 г были созданы цельносварные конструкции высотных зданий в Москве (Министерство иностранных дел, гостиница «Украина»). В 1936 г была построена первая стальная радиомачта из рельсов (200 м).

Стальные конструкции по условиям работы делятся на 4 группы :

1 - работающие в особо тяжелых условиях (подкрановые балки, эстакады, опоры транспортных средств,...);

2 - работающие при статических нагрузках (фермы, балки перекрытий, опоры,...);

3 - вспомогательные конструкции ( трапы, площадки, ограждения,...).

*В зависимости от этих групп и климатических зон выбираются материалы (марки сталей, флюсы, электроды, ...) и режимы наплавки.*

Сварные конструкции изготовляют из проката. Его правят на вальцах, грунтуют, размечают и режут. На автоматических поточных линиях производится резка и сварка без предварительной разметки.

Сварку элементов конструкций проводят на стеллажах, стендах, кондукторах, вращателях и манипуляторах. В процессе сварки кроме широко распространенных кувалды и лома, используются струбцины, эксцентриковые зажимы, домкраты, винтовые распорки, клиновые стяжные приспособления и другая оснастка.

При сварке резервуаров эффективен метод рулонирования, но в трудно доступных местах проводят и листовую их сборку.

Рулонные заготовки днищ и корпусов цилиндрических резервуаров сваривают из листового проката на 2-х ярусной установке механизировано сварочными тракторами под слоем флюса. На верхнем ярусе проваривают швы с другой стороны листа. На контрольной площадке проверяют качество швов и грунтуют полотнища. Далее наматывают его на шахтную лестницу резервуара или кольцевые каркасы и транспортируют на место установки. Листы днища укладываются от центра к краям и укрепляют сборочными приспособлениями. По окружности делают прямые (до объемов менее  $5000 \text{ м}^3$ ) или сегментные (при объемах более  $5000 \text{ м}^3$ ) окрайки. Сварку выполняют ручной электродуговой сваркой в 2 слоя, или механически порошковой проволокой ПП-АНЗ, или сварочными автоматами.

Сварка решетчатых конструкций (стропильные фермы, опоры линий электропередач, мачты,...) выполняется в среде защитных газов или применяется порошковая самозащитная проволока, во многих случаях

используется электроконтактная сварка. Сборка элементов конструкций выполняется с помощью кондукторов, пневматических и винтовых прижимов и фиксаторов.

После прихватки ручной электродуговой сваркой соединений освобождают прижимы и переносят форму в кантователь для основной сварки конструкции.

Сварка при низких температурах. В зависимости от марки стали и толщины металла и вида металлоконструкции (табл. 2.4) устанавливается минимально допустимая температура сварки без нагрева. Углеродистые стали допускают более низкую температуру сварки, чем низколегированные. Чем тоньше металл, тем может быть допустима более низкая температура сварки.

Таблица 2.4..

Допустимые температуры окружающего воздуха при сварке металлоконструкций.

| Металлоконструкции                                   | Допустимая минимальная температура сварки для толщин металла, мм |         |         |                       |       |     |
|--|--|---------|---------|-----------------------|-------|-----|
|  | <16  | 16...25 | 16...30 | >25                   | 30.40 | >40 |
| Из углеродистой стали:                               |  |         |         |                       |       |     |
| решетчатые   | -30  | -       | -30     | -                     | -10   | 0   |
| листовые   | -30  | -       | -20     | -                     | -10   | 0   |
| Из низколегированной стали при $\sigma_t < 390$ МПа: |  |         |         |                       |       |     |
| решетчатые   | -20  | -       | -10     | -                     | 0     | +5  |
| листовые   | -20  | -       | 0       | -                     | +5    | +10 |
| То же, $>390$ МПа :                                  |  |         |         |                       |       |     |
| решетчатые   | -15  | 0       | -       | Подогрев до 120 ...60 | -     | -   |
| листовые   | -15  | 0       | -       |                       | -     | -   |

При очень низких температурах (менее  $-50$  °С) для выполнения сварочных работ необходимы специальные укрытия (тепляки, пневматические оболочки).

#### Сварка стальных трубопроводов.

Выбор материалов для изготовления и технология сварочных работ определяются назначением трубопроводов, характером транспортируемой среды и значениями рабочих параметров (температура, давление и т.д.).

По рабочим параметрам транспортируемого продукта трубопроводы делятся на 5 категорий и 3 группы. Наиболее сложные и ответственные по качеству сварочные работы выполняются для 1 категории трубопроводов.

Стальные технологические трубопроводы изготавливаются из сталей: низкоуглеродистых (Ст10, Ст20, ВСт2сп, ВСт2пс, ВСт3сп, ВСт3пс), ферритно-перлитных (10Г2, 15ГС, ...), мартенситных (15Х5, 15Х8ВФ,...), мартенситно-ферритных (12Х13, ...), ферритных (08Х13, 15Х25,...) и аустенитных (08Х18Н10Т, 10Х23Н18, 10ХПН13МВ).

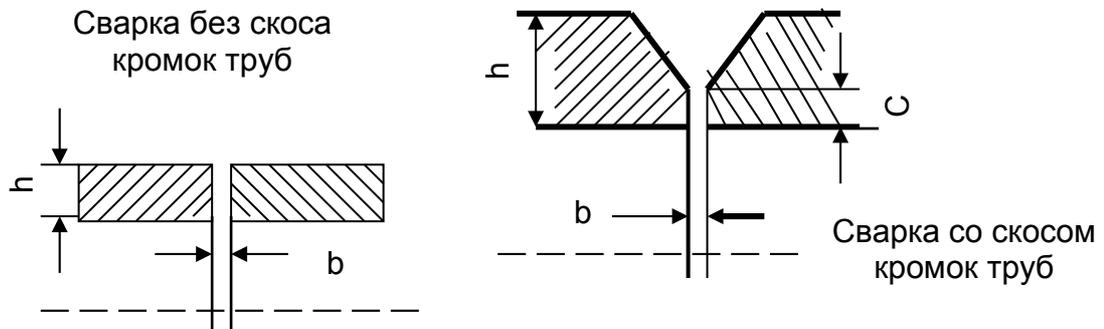


Рис. 2. 51. Способы разделки труб перед сваркой.

Перед сваркой разделяют концы труб (рис. 2. 51) в зависимости от толщины ее стенок и вида сварки (табл.2.5).

Наиболее эффективна подготовка кромок механизированной резкой. После газопламенной резки кромки реза надо зачищать шлифовальными кругами. На специализированных трубоотрезных станках одновременно отрезаются трубы, делаются фаски и нарезаются резьбы.

Низколегированные стали режут газовым резаком, а легированные — плазмой. Перед резкой поверхность труб должна очищаться от масла, краски, грунтовки и загрязнений.

Таблица 2.5.

Основные виды разделки кромок труб под сварку.

| Разделка кромок  | Способ сварки   | h, мм   | b, мм | c, мм |
|------------------|---|---------|-------|-------|
| Без скоса кромок | Ручная электродугвая, в среде CO <sub>2</sub>                           | 2...4   | 0,5   |       |
|                  | Под слоем флюса   | 4...6   | 1,5   |       |
|                  | Газовая сварка  | 1...1,6 | 0,5   |       |
| Со скосом кромок | - / -   | 2...3   | 1     |       |
|                  | Ручная электродугвая, в среде CO <sub>2</sub> , в комбинированной среде | 3...5   | 1     | 0,5   |
|                  | - / -   | 6...8   | 1     | 0,5   |
|                  | - / -   | 9...10  | 2     | 1     |
|                  | - / -   | 12...20 | 2     | 1     |
|                  | Газовая сварка  | 4       | 1     | 1     |
|                  | - / -   | 5...6   | 2     | 1     |
|                  | - - / -   | 7       | 2     | 1,5   |

Качество стыковых сварных соединений во многом определяется качеством корневого шва. Для обеспечения надежного провара корневого шва используют следующие виды сварки :

1. Ручную электродугую сварку электродами диаметром менее 3 мм (наиболее распространенный способ).
2. Ручную аргонно-дугую сварку неплавящимися электродами малого диаметра 0,8...1,2 мм (обеспечивается лучшее качество, чем при ручной электродуговой сварке).
3. Механизированная сварка плавящим электродом в защитных газах (особенно CO<sub>2</sub>) для низкоуглеродистых и низколегированных сталей.
4. Автоматическая аргонно-дугая сварка (требуется высокое качество подготовки стыка).
5. Комбинированный способ (корень шва одним из этих способов, а шов - другими способами).
6. Сварка на съемных, остающихся или расплавляемых подкладках (рис. 2.52.). Съемные подкладки используются при сварке магистральных трубопроводов. Остающиеся подкладки используются редко, т.к. они конструктивно сложны, а имеющийся зазор приводит к трещинам из-за динамических нагрузок и коррозии металла. Перед использованием сварных подкладок трубы центрируются. При сварке накладка полностью расплавляется, исключается непровар, обеспечиваются повышенная прочность и коррозионная стойкость сварного шва.
7. Сварка с применением флюса-пасты ФП-8 для труб аустенитных коррозионно-стойких сталей. Обмазывается флюсом внутренняя поверхность трубы, формируется при сварке хороший шов.
8. Сварка с поддувом защитного газа (аргона) во внутреннюю полость трубы.

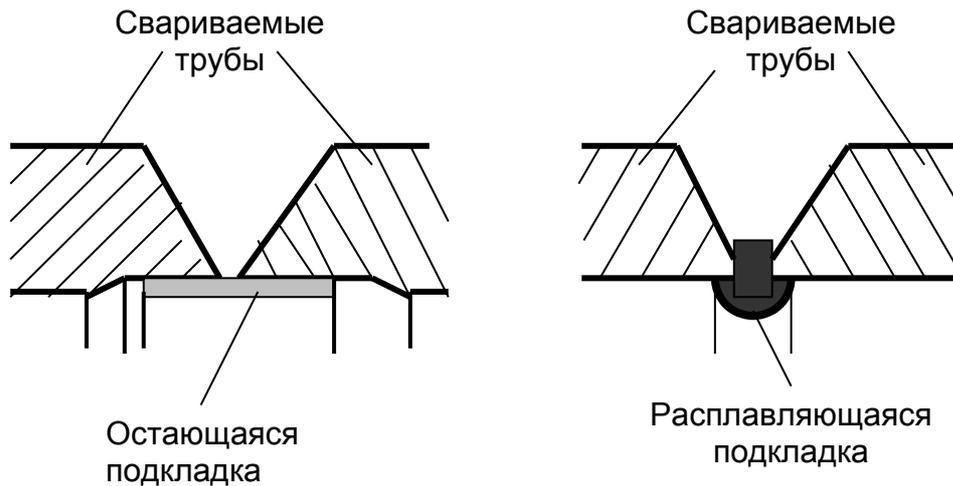


Рис. 2.52. Схема сборки стыка трубопроводов на остающейся и на расплавляющейся подкладках.

9. Сварка на флюсовой подушке. На внутреннюю подкладку наносится флюс или используется флюсомедная подкладка с канавкой, заполненной флюсом .
10. Подварка корневого шва изнутри трубы. После наружной сварки изнутри трубы подрубают (шлифовальным кругом, пневмозубилом ) корень шва и вновь проваривают. Применяется при сварке труб диаметром более 700 мм.
11. Сварка на съемных эластичных неметаллических подкладках из жаропрочного композиционного материала. После сварки подкладки убирают. Они могут быть одно- и многоразового использования.

Сборка труб при имеющемся смещении кромок труб выполняется следующими способами :

1. Подбивкой (подкаткой) кромок в холодном состоянии или с нагревом до 850 ...900 °С.
2. Предварительной калибровкой концов с помощью холодного обжима или раздачи.
3. Применением центраторов, совмещающих кромки изменения труб без изменения их периметра.

При ручной электродуговой сварке прихватка и сварка первых слоев должна выполняться электродами диаметром менее 3 мм. Число слоев наплавки : 1...2 при  $h = 3...6$  мм ; 3...4 при  $h = 10...12$  мм; 12...16 при  $h = 28...32$  мм. Каждый последующий слой очищается от шлака и брызг металла.

В зависимости от марки легированных сталей выбирается тип электрода и необходимые режимы предварительного подогрева сварки и термической обработки после сварки.

#### Сварка арматуры.

Арматурные сетки для бетонирования и связки кирпичной кладки, железобетонные изделия (плиты перекрытия, балки,...) для обеспечения необходимой прочности имеют стальной каркас и изготавливаются методами сварки (рис. 2.53.). При монтаже железобетонных изделий закладные изделия, перемычки между плитами и другие детали также свариваются .

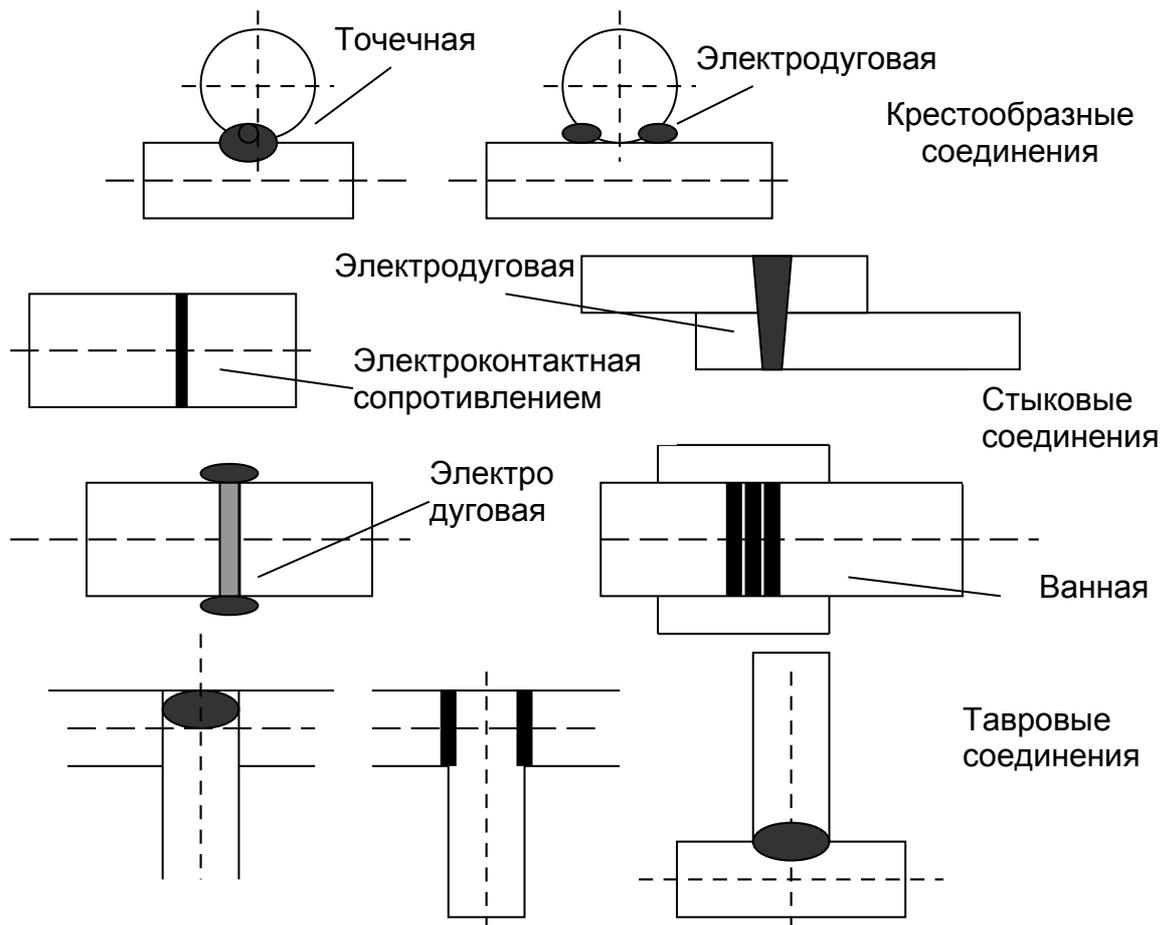


Рис. 2.53. Типы сварных соединений арматуры.

- Используются следующие методы сварки:
- электроконтактная;
- механизированная в среде углекислого газа  $CO_2$  ;
- ручная электродуговая (в т.ч. ванная);
- механизированная дуговая под слоем флюса;
- газовая.

Электрод выбирается исходя из класса арматурной стали (А-I, А-II ... Ат-V), способов сварки (ванная или многослойные швы, протяжные швы, в

штампованном отверстии, прихватами) и типов соединения (крестообразное, стыковое, нахлесточное, тавровое).

Контактная сварка находит наибольшее распространение при сварке арматуры. Арматурная сталь поступает в виде стержней и в бухтах, правку и резку выполняют на правильно-отрезных станках. Арматура разрезается на специальном станке, зачищаются концы и места сварки так, чтобы был запас очищенной поверхности. На плоских элементах закладных изделий выпрессовывают необходимые рельефы.

### 2.16. Контроль качества сварки.

*Качество — это степень удовлетворения заказчика свойствами изделия или предоставленными ему услугами.* Качество — понятие многогранное. Нельзя сказать по какому-то одному частному показателю о качестве в целом.

Качество сварки определяется уровнем дефектов при сварке ( рис. 2.6.), зависит от особенностей протекания технологического процесса и включает в себя ряд единичных показателей ( рис. 2. 54) :

- структуру, твердость и другие механические показатели сварного шва;
- наличие в сварном шве внутренних дефектов (поры, трещины, шлаковые включения и т.д.);
- геометрические размеры шва;
- эстетические показатели;
- коробления и структурных изменений в свариваемых деталях;
- свойств переходной зоны (наличие трещин, крупнозернистости, закалочных явлений,...);
- усталостную прочность и долговечность;
- коррозийную стойкость сварного шва;
- экономические показатели.

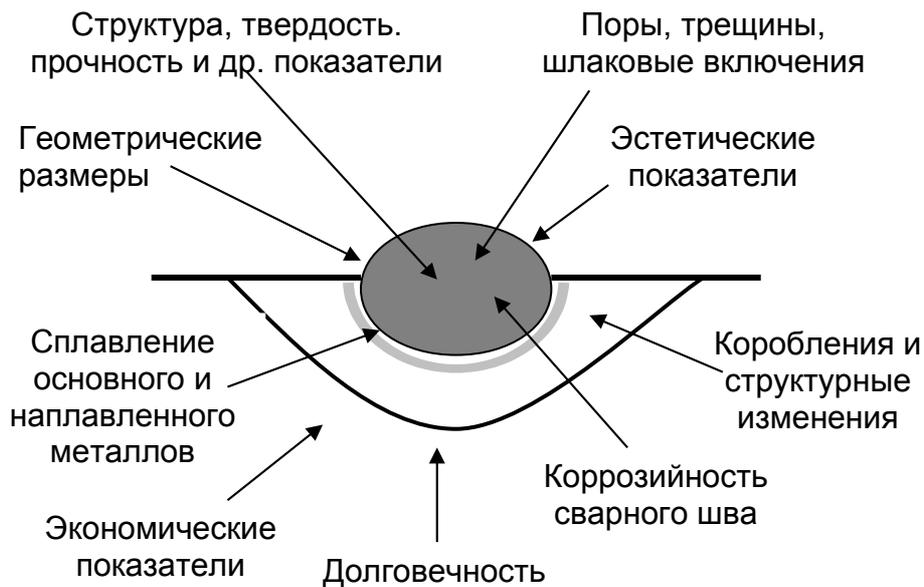


Рис. 2.54.. Показатели качества сварки деталей.

Качество сварки зависит от многих технологических факторов: сварочные материалы (электроды, сварочная проволока, флюсы, защитные газы, ...), режимы сварки (сила тока, напряжение, ...), материалы свариваемых деталей и качество их подготовки перед сваркой, профессионально-личностный уровень сварщика (квалификация, отношение к работе, дисциплина труда, ...), условия труда, охрана труда и т.д.

Контроль может и должен быть предварительным (контроль электродов, флюсов, оборудования, режимов работы и т.д.) и окончательным (оценка качества сварного шва). Первый вид контроля является основой для высокого качества сварки, т.к. создает предпосылки для качественного выполнения работ, а второй - фиксирует достигнутые результаты технологического процесса.

Контролерами являются все участники технологического процесса :

инженеры-механики ОГМ — контролирует состояние оборудования;

инженеры-технологи ОГТ — контролирует выполнение технологического процесса;

работники ОТК — контролирует все стадии технологического процесса и выполняют заключительный контроль;

сварщик- обеспечивает и непрерывно контролирует качество сварки.

Дефекты (табл 2. 6) приводят к уменьшению прочности сварного шва, к нарушению герметичности соединения и к снижению эксплуатационной надежности конструкции.

Таблица 2. 6.

Основные дефекты сварки, их причины и способы определения.

| № | Наименование дефектов                       | Причины появления   | Методы определения  |
|---|---|---|---|
| 1 | Не выдержана форма шва, не заварены кратеры | Квалификация сварщика (КС), режимы наплавки (РН)                            | Визуально(В), шаблоны, измерительный инструмент                                       |
| 2 | Непровары                                   | КС, РН  | В, рентгеновское (РИ),ультразвуковое (УИ) и гамма-излучение (ГИ), магнитография (МГ), |
| 3 | Пережоги (окисление металла)                | Длинная дуга, сильная окислительная струя, КС                               | В   |
| 4 | Прожоги                                     | КС, РН  | В   |
| 5 | Поры (свищи, газовые пузыри)                | Вода в обмазке или флюсе, ржавчина  | В, РИ, ГИ, УИ, МГ   |
| 6 | Шлаковые включения                          | Тугоплавкие или повышенной вязкости шлаки ,неравномерное плавление          | В, РИ, ГИ, УИ, МГ   |
| 7 | Трещины шва                                 | Повышенное содержание S,P и C в металле, излишне жесткое закрепление детали | В, РИ, ГИ, УИ, МГ   |

Дефекты могут быть :

- явными ( непровары, пережоги,...) и скрытыми ( внутренние трещины и поры, структурные изменения ,...);
- исправимыми и неисправимыми.

Простейшие испытания сварных швов на герметичность проводятся гидравлическими и пневматическими методами, а так же с помощью керосиновой пробы.

При гидравлических испытаниях систем отопления, водопровода создается давление в 1,5 раза превышающее рабочее давление и проводится выдержка в течении 5 минут. При наличии утечек воды или отпотевании отдельных участков производится устранение дефекта (вырубка и проварка ).

При пневматических испытаниях сосуд опускают в воду или смачивают швы мыльной пеной и создают в нем избыточное давление, а по наличию газовых пузырьков в воде (пене) судят о наличии дефектов. Эффективна проверка керосином сосудов , работающие при низких давлениях. Одну сторону шва

закрашивают мелом, а вторую смачивают керосином. Появление темных керосиновых пятен на меловом покрытии говорит о наличии трещин.

Степень информативности для определения различных внутренних дефектов различными методами показана в табл. 2.7.

Таблица 2.7.

Выявляемость дефектов в % от их общего количества различными методами :

| Метод контроля        | Поверхностные трещины | Шлаковые включения | Раковины | Непровары |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------|-----------|
| Рентгеновский         | 2                     | 100                | 100      | 65        |
| Гамма-лучами          | 0                     | 85                 | 90       | 30        |
| Ультразвуковой        | 10                    | 45                 | 85       | 45...95   |
| Магнитный             | 98                    | 0                  | 0        | 0         |
| Цветная дефектоскопия | 100                   | 0                  | 0        | 0         |

С помощью рентгеновского просвечивания (рис. 2.55) выявляют трещины, поры, непровары в стальных деталях с глубиной залегания до 100 мм, а в алюминиевых деталях-до 300 мм и в медных- до 25 мм. Рентгеновские лучи,

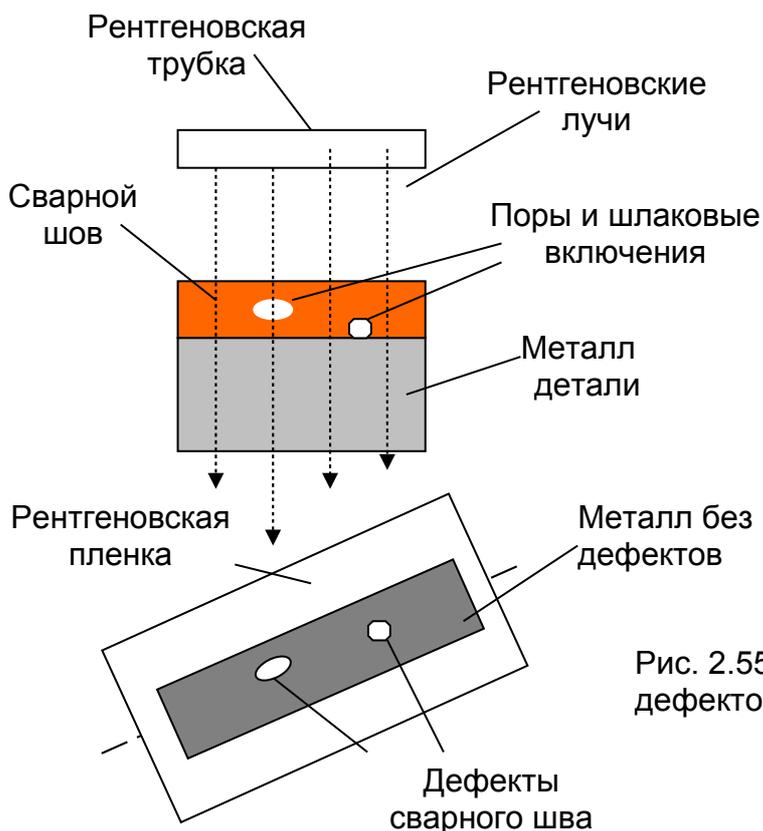


Рис. 2.55. Схема рентгеновской дефектоскопии скрытых дефектов.

излучаемые рентгеновской трубкой, более интенсивно проникают через дефектные места (поры, шлаковые включения, непровары), чем через сплошной металл и сильнее засвечивают рентгеновскую пленку (на негативе будут светлые пятна) или наблюдаются визуально на экране. Достоинства этого метода: высокая чувствительность, определение характера дефектов, их размеров и места расположения. Недостатками его являются: вредность для организма человека,

сложность и громоздкость аппаратуры (имеются и портативные импульсные рентгеновские аппараты), трудоемкость и сложность работ. Из всех указанных в таблице 2.6 методов рентгеновская дефектоскопия чаще других в практике строительства трубопроводов и изготовления технологического оборудования.

Принцип гамма – лучевого просвечивания такой же как и рентгеновской дефектоскопии, только вместо рентгеновской трубки используется источник радиоактивного излучения (радий, кобальт, цезий и др.). *Достоинства* метода: портативность и маневренность аппаратуры, независимость от источников питания, возможность определения характера и размера дефекта. *Недостатки*: вредность гамма-лучей на организм человека, ограниченная чувствительность, трудоемкость и высокая стоимость работ. Глубина просвечивания портативными гамма – дефектоскопами достигает до 60... 80 мм для стальных изделий.

Ультразвуковой метод контроля основан на способности

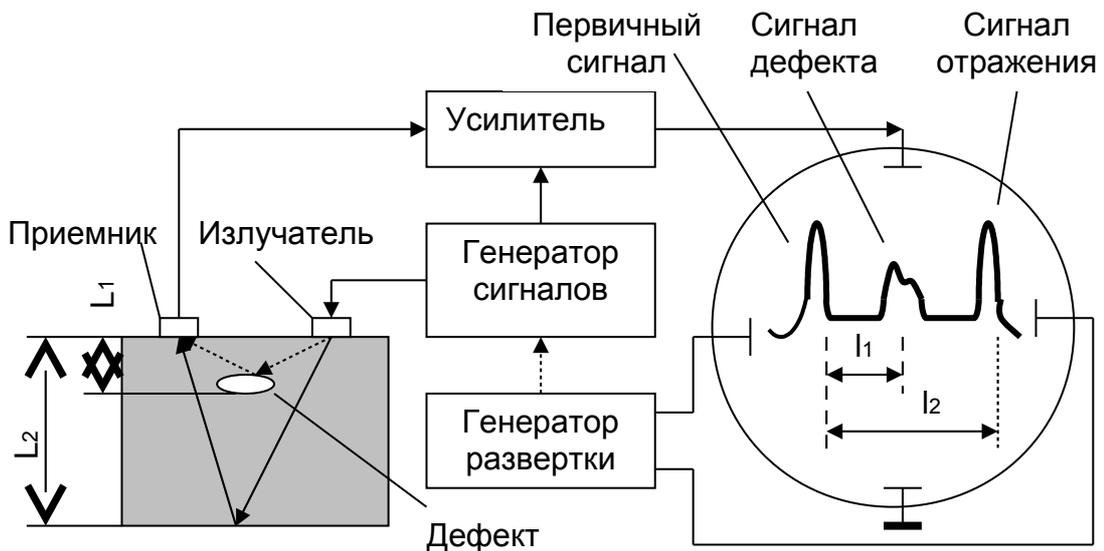


Рис. 2.56. Схема определения скрытых дефектов ультразвуковым просвечиванием.

ультразвуковых колебаний распространятся в металле и отражаться от границ раздела сред. Используется два метода: теневой и отражения. В основном используется второй метод (рис. 2.56), с помощью которого можно выявить дефекты с глубиной залегания до 2600 мм.

Ультразвуковой сигнал, выработанный генератором поступает пьезоизлучатель, проходит через металл, отражается от нижней части детали и от дефекта. Усилитель сигналов получает первичный сигнал от генератора и сигналы, отраженные от дефекта и низа детали.

В итоге сигнал делится на три сигнала, которые представлены на экране осциллографа следующим образом:

-первичный сигнал генератора, на экране осциллографа это будет самый левый импульс;

-сигнал от дефекта, который проходит расстояние : излучатель - дефект-приемник, на что затрачивается время, этот сигнал будет на экране осциллографа сдвинут правее первичного сигнала на расстояние  $I_1$ , а его форма и размеры отражают соответствующие характеристики дефекта;

- сигнал от нижней части детали, путь его прохождения максимален, поэтому он будет сдвинут еще на большее расстояние  $I_2$ , т. е. еще правее сигнала дефекта .

На экране осциллографа мы видим:

- отсутствие или наличие дефектов;
- характеристику дефектов :форму, размеры, вид (поры, трещины, шлаковые включения);
- глубину залегания дефектов, определяемую из пропорции:

$$L_1 = L_2 \frac{I_1}{I_2}$$

Магнитные методы контроля основаны на принципе искажения магнитного поля в местах дефектов (рис. 2.57), расположенных на поверхности детали. Магнитный порошок (измельченная железная окалина, продукты

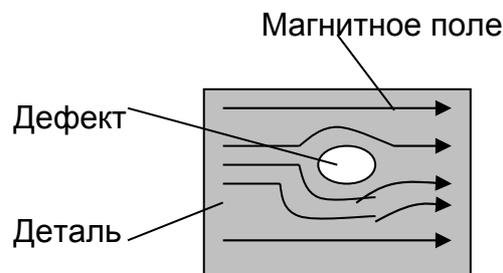


Рис. 2.57. Искажение магнитного поля детали при наличии дефекта

шлифования металла) в сухом виде, а чаще всего в виде масляной эмульсии ,наносится на проверяемую поверхность, деталь намагничивается. На месте дефекта визуально будут видны скопления магнитного порошка.

Магнитно-графический метод контроля заключается в фиксации на магнитной ленте полей рассеивания, возникающих на дефектных участках шва при его намагничивании с последующим воспроизведением этих полей с помощью магнитно-графической аппаратуры. Можно намагничивать с помощью импульсного магнитного устройства протяженный участок шва (600...700 мм) или весь периметр сварного шва трубы.

При люминисцентной дефектоскопии готовится смесь (керосин, бензин, смазочное масло и порошок дефектоля), наносится смесь на поверхность детали, смесь проникает в трещины и остается там, с поверхности детали смесь удаляется, деталь облучается ультрафиолетовыми лучами, дефект высвечивается зелено-золотистым цветом, т. к. в трещинах остается дефектоль.

При цветной дефектоскопии деталь аналогично обрабатывается специальным составом краски, далее наносится на проверяемую поверхность аэрозоль белой нитроэмали, при сушке которой адсорбируется краска из трещины, над дефектом появляются соответствующие разводы яркой краски.

Для контроля сварки трубопроводов имеются передвижные лаборатории рентгеновского, гамма- и магнитнографического контроля, со сменной производительностью контроля стыков труб:

рентгеновским методом — до 12;

гамма – лучевым контролем — до 6;

магнитно-графическим методом — до 15...20.

Методы контроля с разрушением сварного соединения.

Образцы металла вырезают из проверяемой конструкции или из контрольных сварочных соединений, специально изготовленных в тех же условиях, как и основное изделие. На образцах определяют твердость, предел текучести, временное сопротивление на разрыв, относительное удлинение и другие показатели. При макроанализе определяют границы зон сварного соединения, ширину зоны термического влияния, наличие внутренних дефектов, серы и фосфора. При микроанализе изучают микроструктуру сварного шва, выявляют микропоры и микротрещины, нитридные и водородные включения.

*Основой качества сварки и главным контролером должен быть исполнитель работ.* Качество сварки в его руках, в его отношении к работе. Квалификация сварщика, его опыт, знания, отношение, исполнительная дисциплина и другие его профессионально-личностные признаки — основные факторы обеспечения качества труда и качества сварного шва.

Имеется пять принципов обеспечения производительной и качественной работы: исполнители должны *знать*, что делать, *уметь* и *успевать* это делать, работа их должна *оцениваться* и *стимулироваться*. Первые три принципа обеспечивают потенциальную возможность успешной работы исполнителей, а два последних - желание качественно работать. Естественно, что желание реализуется только при условии, если в достаточной мере обеспечены первые три принципа.

Администрация и инженерная служба предприятий должны в первую очередь решать вопросы повышения профессионального и исполнительского уровня, создания социально-экономических предпосылок успешной работы людей. Знания сварщиков- это знание ими материалов деталей, технологии сварки, оборудования и оснастки. А умение – это знания плюс навыки ( опыт работы). Успевать выполнять работу - это своевременно проводить подготовительные операции и в полном объеме и без ненужной спешки выполнять сварку. Известно, что как раз вследствие спешки происходят упрощения операций сварки, игнорирование некоторых элементов их, в итоге возникает брак в работе исполнителей. Принцип « торопиться не спеша» очень важен для обеспечения качественной работы.

Фактор оценки обеспечивают технически обоснованными нормами выработки и объективными методами определения качества произведенной работы. Сварщик должен знать, что его работа оценена достоверно как в количественном, так и в качественном отношении.

Стимулирование работы опирается на качественные и количественные показатели и предполагает материальную и моральную заинтересованность исполнителей в выполнении качественно и в срок сварочных работ.

### **Литература.**

1. Барановский М.А. и др. Технология металлов и других конструкционных материалов. -Минск: Вышэйш. шк , 1973.-528 с.
2. Болдырев А.М., Орлов А.С. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов: Учебник, М.: Изд-во АСВ, 1994.-432 с.
3. Кнорозов Б.В. и др. Технология металлов. –М. : Металлургия,1977.-647 с.
4. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению. Под ред.С.С. Некрасова.-М.: Колос, 1978.-236 с.
5. Прейс Г.А. и др. Технология конструкционных материалов. -К. : Вища шк. ,1984.-464 с.

6. Полухин П.И. и др. Технология металлов и сварка.–М.: Высш. шк. , 1977. -464 с.
7. Самохоцкий А.И. , Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. –3-е изд.- М.: Машиностроение , 1981.-174 с.
8. Соколов И. И. Газовая сварка и резка металлов. –М.: Высш. шк. , 1986.- 304 с.
9. Храмцов Н.В. , Зайцев П.А. Восстановление зубчатых колес.- Тюмень: ТюменьСНИО, 1993.-133 с.
10. Храмцов Н.В. , Зайцев П.А. Восстановление шестерен сельскохозяйственных машин электрошлаковой наплавкой.- Тюмень: НИИСХ Северного Зауралья ., 1982.-44 с.