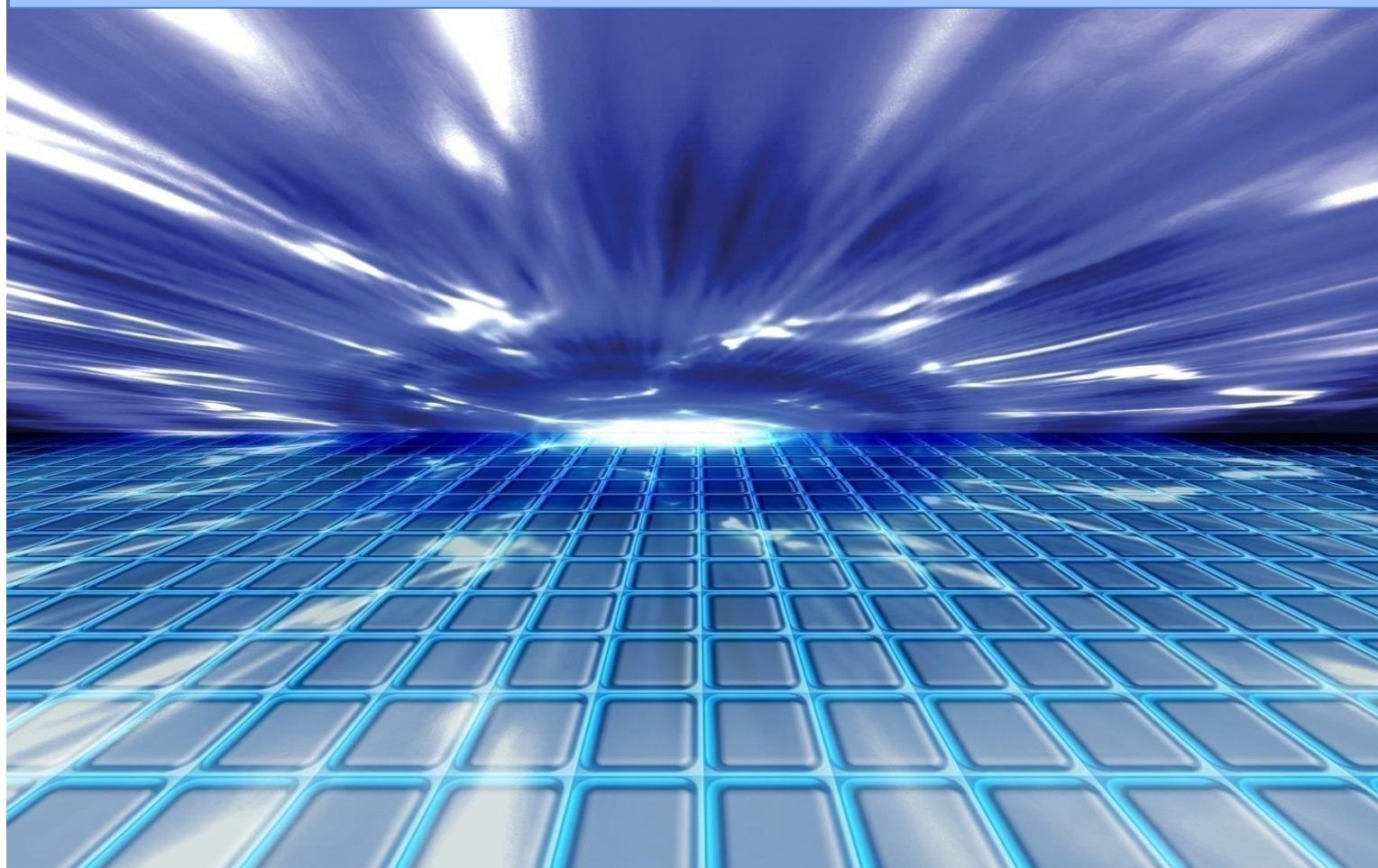


Сварочное производство



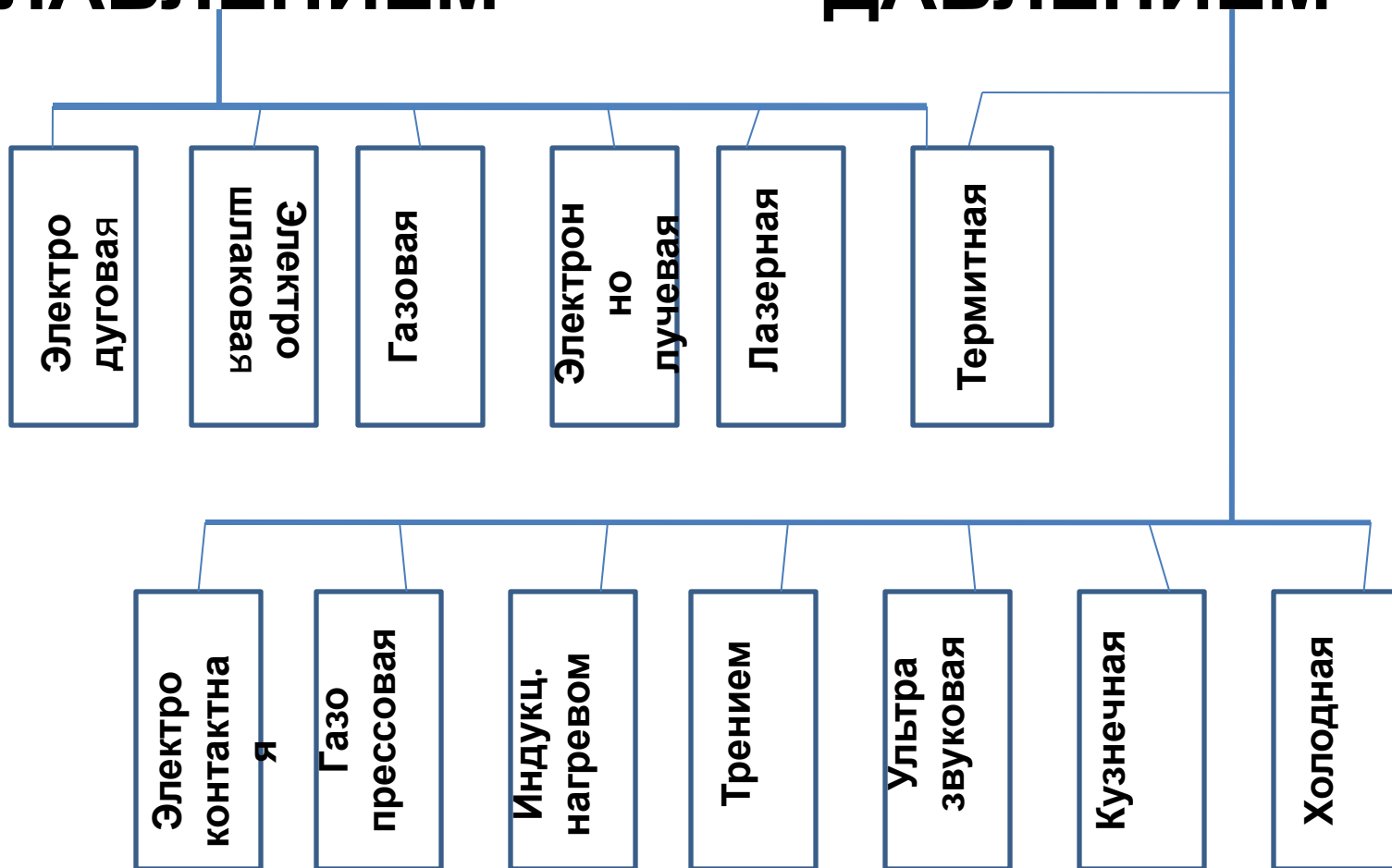
ГОСТ 2601-84

Сварка - процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого

СВАРКА МЕТАЛЛОВ

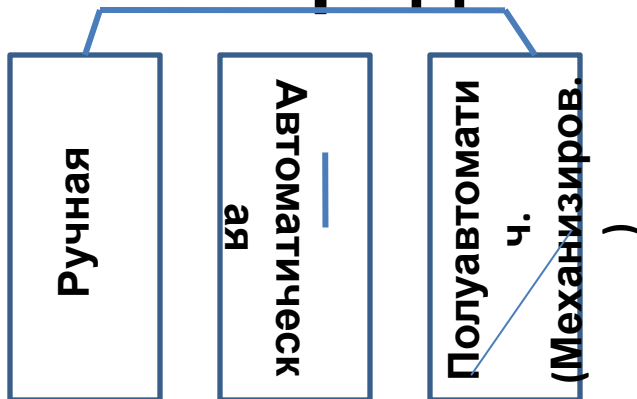
ПЛАВЛЕНИЕМ

ДАВЛЕНИЕМ



Электродуговая СВАРКА

**Металлическим
плавящимся
электродом**



**Неплавящимся
электродом**
(угольным, вольфрамовым)



Под
флюсом

В защитных
газах

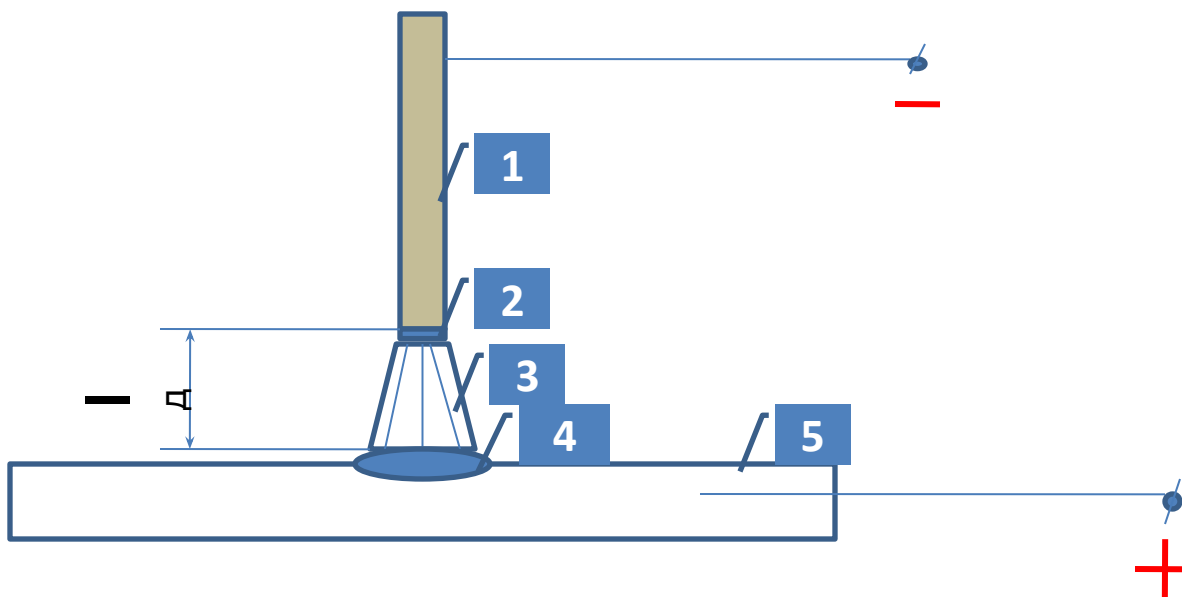
Физическая природа электрической дуги

Электрическая сварочная дуга - устойчивый длительный электрический разряд в газовой среде между твердыми или жидкими электродами при высокой плотности тока, сопровождающийся выделением большого количества теплоты.

Условие существования дуги -
ионизация газового
зазора между электродами
благодаря электрическому потенциалу,
приложенному к ним

Физическая природа электрической дуги

Строение дуги



1-электрод; 2- катодная зона; 3 - столб дуги; 4 - анодная зона; 5 - изделие

Строение дуги

Столб дуги - конусообразный проводник,
заполненный плазмой;

Столб дуги

2-4 мм - ручная сварка металлическим плавящимся электродом;

6-8 мм - сварка под флюсом

Ионизация - образование заряженных частиц

Рекомбинация - потеря заряженных частиц

Катодная область - $l_k = 10^{-4} - 10^{-5}$ см

Электронный и ионный токи

Анодная область - $l_a = 10^{-3} - 10^{-4}$ см

Электронный ток

Тепловой баланс дуги

Количество теплоты, выделяемое сварочной дугой

$$Q = I_{\text{св}} * u_{\text{д}} * t$$

Эффективная тепловая мощность -

количество теплоты, используемое на плавление

$Q = I_{\text{св}} * u_{\text{д}} * \eta$ и нагрев металла в единицу времени

η - эффективный КПД нагрева

0,7 - ручная сварка

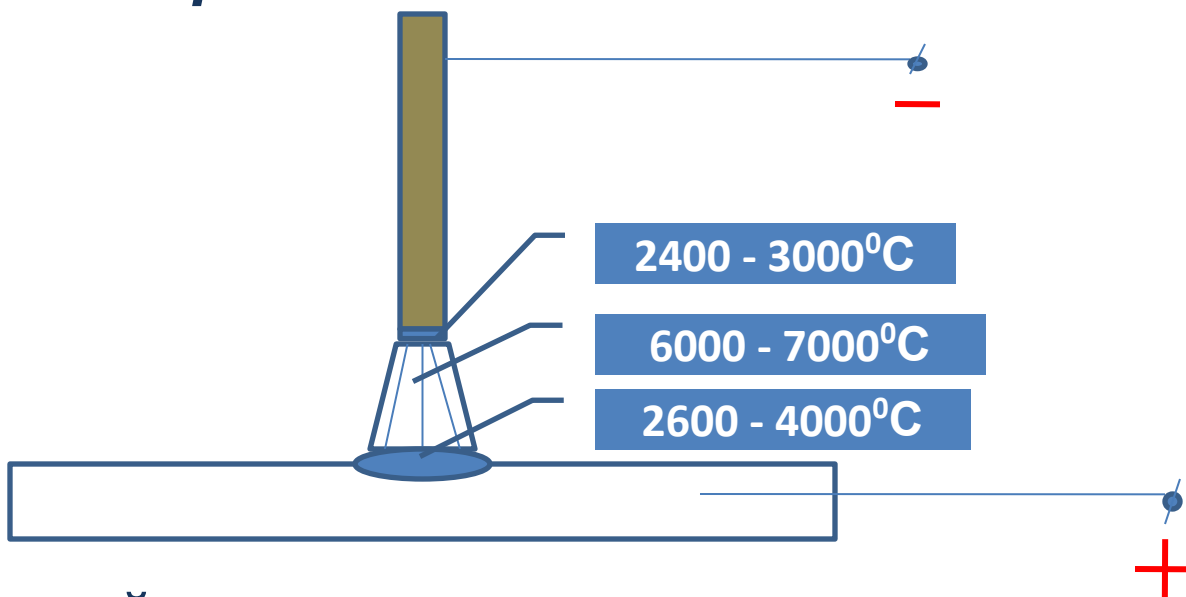
до 0,95 - сварка под флюсом

Тепловой баланс при сварке под флюсом

- Поглощение основным металлом - **54%**
- Перенос каплями - **28%**
- Плавление флюса - **17%**
- Разбрызгивание - **1%**

Тепловой баланс дуги. Полярность

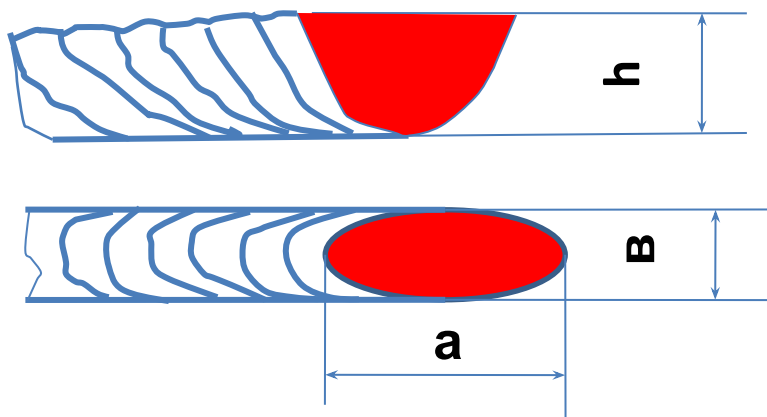
Прямая полярность



На обратной полярности сваривают:

- *тонколистовые конструкции,*
- *высокоуглеродистые стали,*
- *коррозионно-стойкие стали*
- *жаропрочные стали*

Сварочная ванна



а - длина
в - ширина
h - глубина
(провар)

Способ сварки	а	в	h
Ручная	20-30	8-12	2-3
Авт. под флюсом	80-120	20-30	15-20

Металлургические процессы при сварке

Особенности

- **Участие двух различных металлов в образовании шва (основного и присадочного), влияние флюса, покрытия электродов;**
 - **Интенсивное влияние окружающих газов (воздух, защитные газы)**
- сварной шов имеет особый химический
состав**

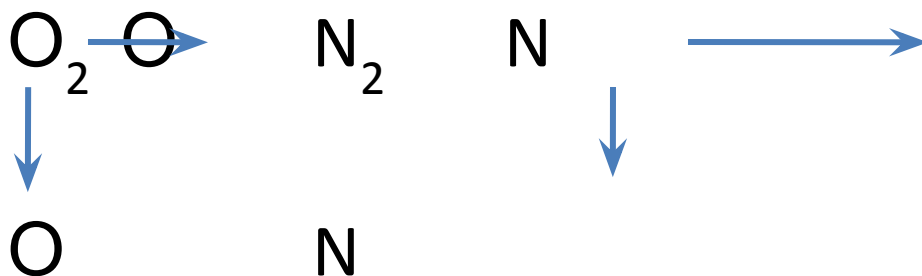
Металлургические процессы при сварке

Особенности

- Высокая температура

в св. ванне 2300°C ← в мартеновской печи 1700°C

диссоциация O_2 и N_2



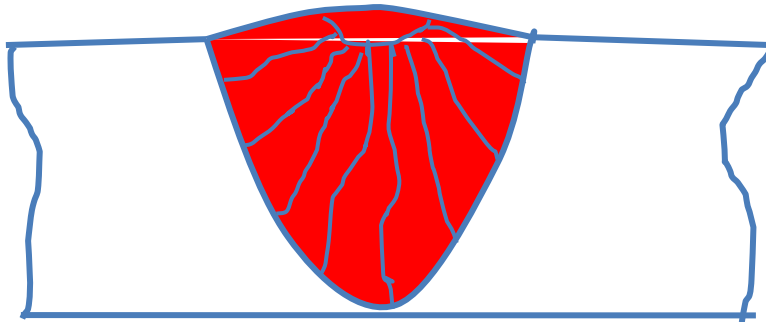
в атомарном состоянии O и N интенсивно
соединяются с Fe и др. элементами -

необходима защита от воздуха

Металлургические процессы при сварке

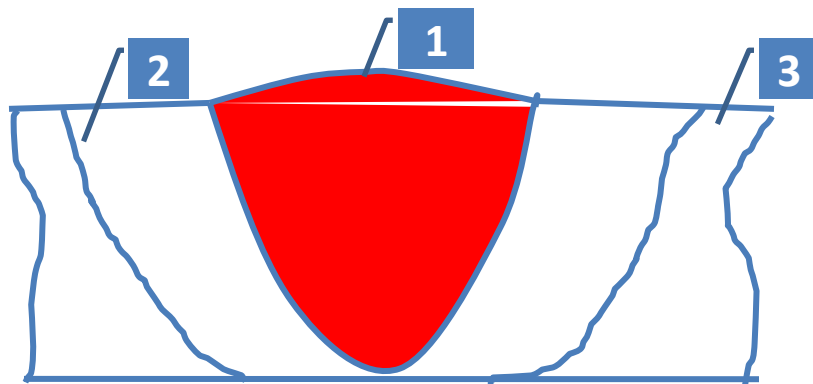
Особенности

- Малый объем сварочной ванны и большая скорость охлаждения ($10-15^{\circ}\text{C}/\text{сек}$)
не достигается химическое равновесие
металла, могут быть дефекты;
металл шва имеет литую (крупнозернистую)
структуру



Металлургические процессы при сварке

Строение сварного соединения



1-ШОВ

особый хим. состав,
особая (литая) структура

2- зона термического влияния (ЗТВ)

нагрев выше 720°C

хим. состав не изменился,
произошли структурные изменения

3 - ОСНОВНОЙ металл

нагрев не выше 720°C

хим. состав и структура
(мелкозернистая) не изменились

Физико-химические процессы при сварке

- Кислород O_2 ↓ механические свойства,
↓ обрабатываемость,
↓ износостойкость
↓ возможность образования пор

Содержание O_2 в сварном шве зависит от:

- длины дуги l_d (→ ↑);
- сварочного тока I (→ ↑);
- условий защиты

Физико-химические процессы при сварке

- Азот N_2 образует нитриды железа (Fe_4N , Fe_2N), марганца и др. элементов - ~~игольчатые включения~~ трещины (хладоломкость)

Содержание N_2 в сварном шве зависит от тех же факторов, что и кислорода.

Физико-химические процессы при сварке

- Водород H_2 - трещины, поры

Источники: *влага в покрытии электродов,
ржавчина и др. загрязнения на кромках*

↑ *Степень легирования* → *склонность к
водородным трещинам*

Физико-химические процессы при сварке

Раскисление

Раскисление - удаление O_2 путем восстановления железа из окислов за счет окисления других элементов, имеющих большее сродство к кислороду, чем железо, при этом должны образовываться соединения, нерастворимые в стали

Раскислители:

- **С** - «автоматический» раскислитель, могут быть поры, если реакция не успеет завершиться

Физико-химические процессы при сварке

Раскисление

Раскислители:

- **Mn** раскисляет, удаляет азот, удаляет серу



- **Si** более сильный раскислитель, чем Mn,
но при излишке SiO_2 - неметаллические
включения применяют совместно с Mn -
образуются жидкие силикаты.

Физико-химические процессы при сварке

Раскисление

Раскислители:

- **Ti** - сильный раскислитель, удаляет азот



Вместе с раскислением при сварке
происходит процесс **легирования**
металла шва

Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W, Ti и др.

через сварочную проволоку, покрытие
электрода или флюс

Физико-химические процессы при сварке

Удаление S и P

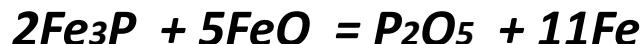
- **S** образует FeS - при кристаллизации получают легкоплавкие соединения по границам зерен металла - **красноломкость** (трещины при высоких температурах): удаление - марганцем



- **P** снижает механические свойства металла, приводит к **синеломкости** (трещины при низких температурах)

Удаление - в 2 этапа

– Окисление $2\text{Fe}_2\text{P} + 5\text{FeO} = \text{P}_2\text{O}_5 + 9\text{Fe}$;



– Связывание в химические соединения (окислами Ca, Mg, Mn), нерастворимые в стали



Свариваемость металлов

способность металлов образовывать качественное сварное соединение, удовлетворяющее эксплуатационным требованиям

Методы оценки свариваемости:

- **Прямой** - сварка проб на различных режимах с последующими испытаниями образцов из них на растяжение, изгиб, ударную вязкость, коррозионную стойкость и др.
- **Косвенный** - по эквиваленту углерода.

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Группы свариваемости

Группа свариваемости	$C_{эк}$	Условия сварки
I Хорошая	До 0,25	Без ограничений
II Удовлетворительная	0,25-0,35	Только при температуре окружающей среды не ниже 5°C, толщине металла < 20 мм при отсутствии ветра
III Ограниченная	0,35-0,45	С предварительным или сопутствующим подогревом до 250°C
IV Плохая	Свыше 0,45	С предварительным и сопутствующим подогревом, термообработкой после сварки

Сварочная проволока, покрытия электродов и флюсы

Сварочная проволока

ГОСТ 2246-70

по назначению:

- низкоуглеродистая - **Св-08, Св-08А** ,
- легированная - **Св-08ХГС**,
- высоколегированная - **Св-07Х18Н9Т10**.

Диаметр **0,3 - 12 мм (1-6 мм)**

Бухты **20 кг** (при диаметре 1-2 мм), **60 кг** (при диаметре 2,5-12 мм)

Сварочная проволока, покрытия электродов и флюсы

Покрyтия электродов и флюсы

- **стабилизирующие (ионизирующие)** - мел, поташ, мрамор, титановый концентрат и др.
- **защитно-легирующие**
 - **газообразующие** - крахмал, декстрин, целлюлоза, древесная мука, мел, мрамор и др.;
 - **шлакообразующие** - мрамор, полевой шпат, титановый концентрат, марганцевая руда, кварцевый песок и др.
 - **раскисляющие** - ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.
 - **легирующие** - ферромolibден, феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.
 - **связующие** - натриевое или калиевое жидкое стекло.

Электроды и проволока для дуговой сварки

Требования к электродам

- Стабильное горение дуги и хорошее формирование шва;
- Необходимый химический состав шва;
- Минимальное разбрызгивание металла и потери на угар;
- Отсутствие дефектов шва;
- Легкое отделение шлака от поверхности шва;
- Высокая производительность сварки;
- Минимальная токсичность при сварке и изготовлении

Электроды и проволока для дуговой сварки

Классификация электродов по назначению

- **У** - для углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_v \leq 60 \text{ кг/мм}^2$;
- **Л** - для легированных конструкционных сталей с $\sigma_v \geq 60 \text{ кг/мм}^2$;
- **Т** - для теплоустойчивых сталей;
- **В** - для высоколегированных сталей с особыми свойствами;
- **Н** - для наплавки слоев с особыми свойствами

Электроды и проволока для дуговой сварки

Классификация электродов по допустимым пространственным положениям

- **1** - все положения;
- **2** - все, кроме вертикального «сверху вниз»;
- **3** - нижнее, горизонтальное, вертикальное «снизу вверх»;
- **4** - нижнее и нижнее «в лодочку»;

Электроды и проволока для дуговой сварки

Классификация электродов по толщине и составу покрытия

- **М** - с тонким покрытием;
 - **С** - со средним покрытием;
 - **Д** - с толстым покрытием;
 - **Г** - с особо толстым покрытием
-
- **А** – с кислым покрытием;
 - **Б** – с основным покрытием;
 - **Ц** – с целлюлозным покрытием;
 - **Р** – с рутиловым покрытием;
 - **П** – с покрытиями прочих видов;
 - **Ж** – с содержанием > 20% железного порошка

Электроды и проволока для дуговой сварки

Тип и марка электрода (ГОСТ 9467-75)

Тип электрода

- для углеродистых и низколегированных сталей определяет **механические свойства** наплавленного металла
- для высоколегированных сталей определяет **химический состав** наплавленного металла

Например

Э-42А – электроды (**Э**), обеспечивающие предел прочности наплавленного металла не менее **42** кг/мм² при повышенной пластичности (**А**);

Э-12ХМФ – электроды (**Э**), обеспечивающие в наплавленном металле содержание углерода – **0,12**%, хрома (**Х**), молибдена (**М**), ванадия (**Ф**) – до 1%.

Электроды и проволока для дуговой сварки

Тип и марка электрода (ГОСТ 9467-75)

Каждый тип могут образовывать электроды различных марок.

Марка электрода (ОСТ 9224-75) присваивается предприятием–изготовителем и в большинстве случаев совпадает с маркой покрытия.

Например, **УОНИИ 13/45** – **у**ниверсальная **о**бмазка **н**аучно-**и**сследовательского **и**нститута; **13** – модификация; **45** – предел прочности наплавленного металла в кг/мм².

*Для отличия электродов различных марок в неупакованном виде
используется окраска их торцов или покрытия
определенного цвета*

Электроды и проволока для дуговой сварки

Обозначение электродов

Здесь:

- 1- тип электрода;
- 2- марка электрода;
- 3- диаметр электрода, мм;
- 4- назначение;
- 5- толщина покрытия;
- 6- группа по качеству;
- 7- группа индексов по временному сопротивлению;
- 8- вид покрытия;
- 9- пространственное положение;
- 10- группа по характеристикам тока;
- 11- технические требования;
- 12- регламентирующие требования

$$\frac{1 - 2 - 3 - 4,5,6}{E - 7 - 8,9,10} 11 - 12$$

Электроды и проволока для дуговой сварки

Обозначение электродов

Э42А – УОНИ13/45 – 3,0 – УД

Е432(5) – Б1 =, ОП

- Тип электрода **Э42А**
- Марка электрода **УОНИ-13/45**
- Диаметр электрода **3** мм
- Назначение электрода **У** - для углеродистых и низколегированных сталей
- Толщина покрытия **Д** - с толстым покрытием
- **Е432(5)** - группа индексов (характеристики наплавленного металла по ГОСТ)
- Вид покрытия **Б** - основное
- Пространственные положения **1** - для всех
- Род тока **=** - постоянный **ОП** - обратная полярность

Электроды и проволока для дуговой сварки

Сварочная проволока (ГОСТ 2246-70)

Три группы:

- Низкоуглеродистая - 6 марок;
- Легированная - 30 марок;
- Высоколегированная - 39 марок

Ø 0,3 - 12 мм

1-6 мм

Маркировка сварочной проволоки

Сварочная	Содержани е С, %	Содержани е легир. элементов	Примеч.
Св	08		А - пониж. содерж. S и Р
Св	04	X19H9	

Св-08

Св-08А

Св-04X19H9

Электроды и проволока для дуговой сварки

Порошковая проволока - стальная оболочка,
внутри которой запрессован порошок
*(ферросплавы для легирования или железный
порошок для увеличения наполнения шва)*

ПП-АН1

ПП-АН7

ПП-2ДСК

ПП-АН10

ПП-АН9

Электроды и проволока для дуговой сварки

Обмазка электродов (покрытие)

Покр^ытия

```
graph TD; A[Покрытия] --> B[Стабилизирующие]; A --> C[Защитно-легирующие];
```

Стабилизирующие

(ионизирующие)
шлакообразующие,

0,1 - 0,3 мм

2-3% от массы стержня

(мел, поташ, мрамор)
крахмал,

Защитно-легирующие

(ионизирующие,
газообразующие, легирующие)

0,5-2,0мм

30-50% от массы стержня

(мел, поташ, мрамор,
древесная мука, полевой шпат,
ферросплавы)

Электроды и проволока для дуговой сварки

Технология изготовления электродов

- Проволока

- (в бухтах)

- Правка и резка

- Очистка (травлением или песком, древесными опилками)

- Сухие компоненты покрытия

- Промывка,

- предварительное, крупное

- (10-25мм),

- среднее (3-8мм) дробление

- Сушка, тонкое измельчение, пассивирование ферросплавов, классификация, перемешивание

Электроды и проволока для дуговой сварки

Технология изготовления электродов

- **Изготовление обмазочной массы** из жидкого стекла (силикатные глыбы, разваренные в автоклавах с водой и паром), шихты из компонентов покрытия;
- **Нанесение покрытия** (опрессовкой или окунанием)
- **Сушка** (40 - 50⁰С -2-4час) и **прокалка** (150 - 200⁰С 1-2 час)
- **Испытание электродов** (внешний осмотр, сбрасывание с высоты 0,5 - 1м на мраморную плиту, проверка технологических свойств, химсостава и мех. свойств - на образцах)
- **Сортировка, отбраковка, упаковка электродов**

Длина стержней:

при $\varnothing \geq 4$ мм	450мм
при $\varnothing < 4$ мм	200-350мм

Типы сварных швов

- ***по расположению в пространстве:***
 - в нижнем положении;
 - в вертикальном положении;
 - в горизонтальном положении;
 - в потолочном положении.
- ***по степени усиления:***
 - нормальные (с «усилением» по ГОСТ);
 - усиленные (могут использоваться при сварке спецсталей);
 - ослабленные.

Типы сварных швов

- ***по протяженности:***
 - сплошные (непрерывные);
 - прерывистые (цепные или шахматные).
- ***по числу слоев:***
 - однослойные;
 - многослойные (при большой толщине металла).
- ***по прочности и плотности:***
 - прочные;
 - прочно-плотные.

Ручная дуговая сварка

Выбор режима сварки

Режим - совокупность основных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение шва заданных размеров, формы и качества

Диаметр электрода

$$d = f(s)$$

s	≤ 2	2-3	4-6	6-10	≥ 10
d	2	3	3-4	4-5	5-6

Многопроходные швы: 1-й проход - $d \leq 4$ мм (провар)

остальные - $d = f(s)$ (зависит от производительности)

Вертикальные, потолочные швы - $d \leq 4$ мм (формирование шва)

Ручная дуговая сварка

Выбор режима сварки

Тип и марка электрода

в зависимости от марки стали
(равнопрочность).

Тип указывается в чертеже.

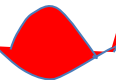
Марку (по типу), принятую на данном заводе,
выбирает технолог

Ручная дуговая сварка

Выбор режима сварки

Сила тока $I_{св}$

 **малый $I_{св}$** - несплавления, непровары,
неустойчивое горение дуги

подрез  **большой $I_{св}$** - подрезы, прожоги,
перегрев Me , перегрев электрода

 **нормальный $I_{св}$**

В вертикальном и

потолочном - $I_{св}$ на 10-20

$$I_{св} = K * d_{эл}$$

$d, \text{мм}$	2	2-4	4-6
K	25-30	30-40	40-60

Ручная дуговая сварка

Выбор режима сварки

- **Род тока и полярность**

выбираются в зависимости от марки электрода и материала конструкции

Электроды:

УОНИ-13; Э-138/45М; ЭА400/10У

только для постоянного тока

Обратная полярность:

- тонкий металл;
- спец. стали, чувствительные к перегреву;
- электроды с тугоплавким покрытием

Ручная дуговая сварка

Выбор режима сварки

- **Число проходов**

выбирается в зависимости от толщины и типа соединения (площади сечения шва).

Площадь сечения одного прохода:

- Первый - $F_1 = (6 \div 8) d_{эл}$
- Последующие $F = (8 \div 12) d_{эл}$
 - стыковых соединений - 40 - 50 мм²
 - угловых и тавровых соединений - 30 - 40 мм²

Ручная дуговая сварка

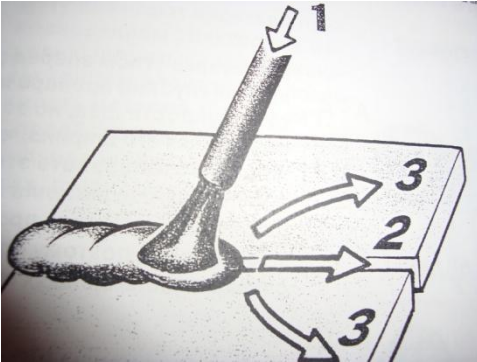
Выбор режима сварки

- **Положение шва в пространстве**

Определяется конструкцией

Ручная дуговая сварка

Технология сварки



Перемещения электрода:
1 - продольное
2 - поперечное
3 - поперечные

3 - поперечные

- Продольное малая v большая v
↓ ↑
производительность усиление
провар ↓

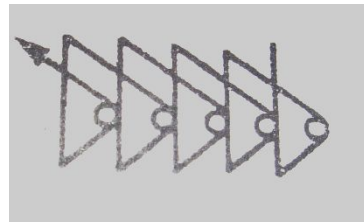
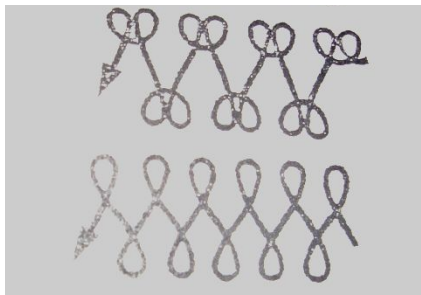
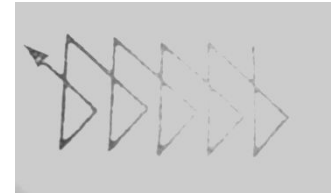
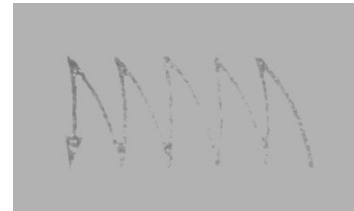
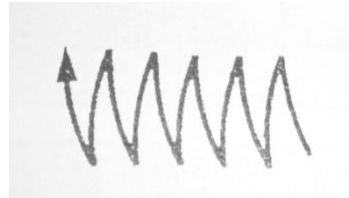
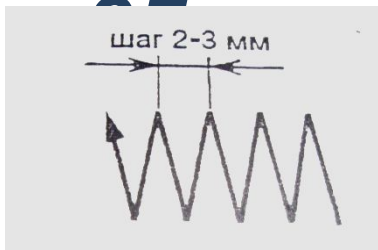
Ниточный шов - без поперечных перемещений
ширина $d_{эл} + (1-2) \text{ мм}$

Ручная дуговая сварка

Технология сварки

Перемещения электрода

- **Поперечные** *ширина шва $(2,5 - 3)d$*



- зигзагообразный;*
- полумесяцем вперед;*
- полумесяцем назад;*
- треугольником;*
- треугольником с задержкой в корне шва;*
- петлеобразные*

Ручная дуговая сварка

Сварка стыковых швов

- **Тонкий металл** - (без скоса кромок) продольным перемещением с проваром на всю толщину *(рекомендуется с подваркой с обратной стороны)*

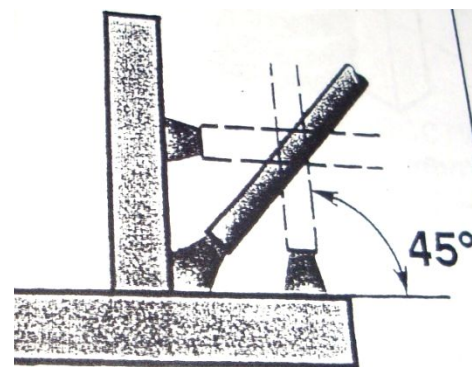
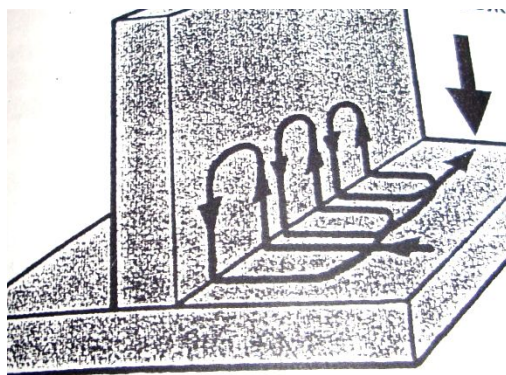
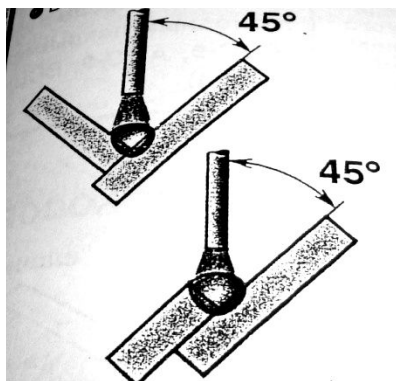
- **V-образные швы** - в один или несколько проходов *(в зависимости от S)*, подварка со строжкой корня шва

При многослойной сварке 1-й проход $d_{эл} = 3-4$ мм
НИТОЧНЫЙ

- **X-образные швы** - так же, строжка корня, желательно поочередное наложение слоев с одной и другой стороны

Ручная дуговая сварка

Сварка угловых и тавровых швов



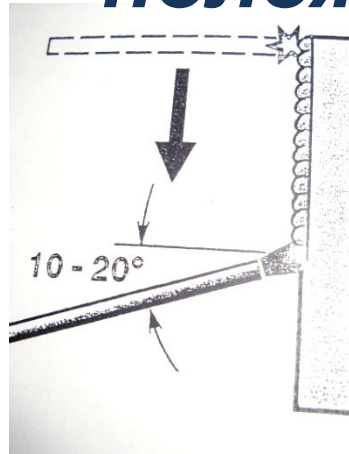
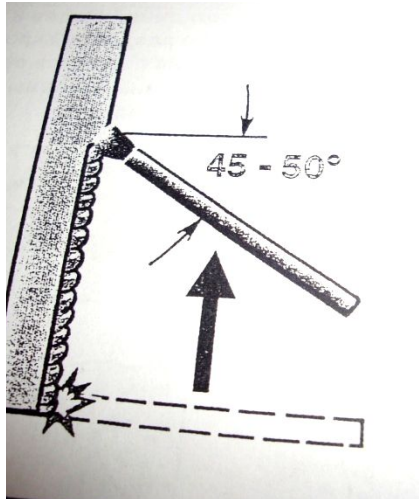
«В
лодочку»

тавровые швы в нижнем положении

Зажигают дугу на нижнем листе, перемещают в угол, задерживают, поднимают на величину катета (до 8-9 мм), быстрее вниз, перемещают по нижнему листу на величину катета, ...

Ручная дуговая сварка

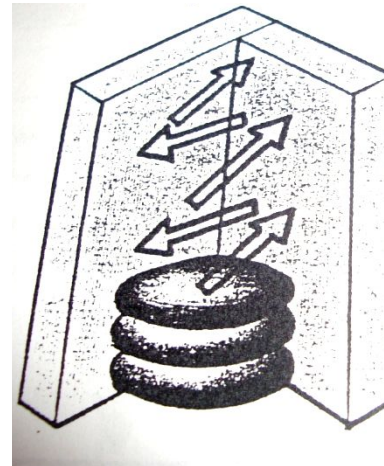
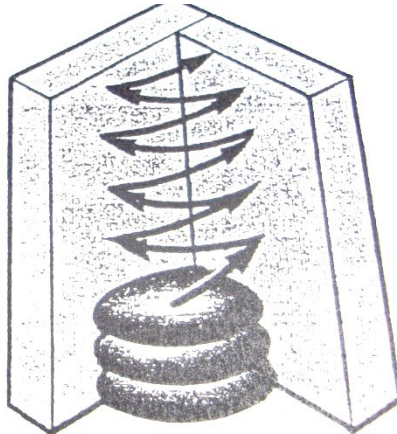
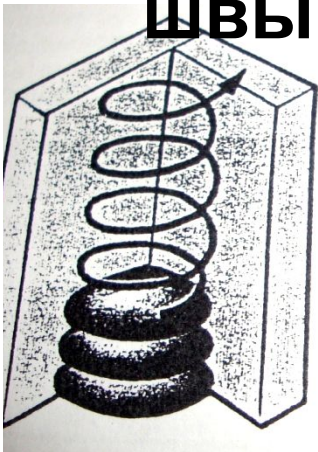
Особенности сварки в вертикальном положении



Выполнение проходов:

- по спирали
- полумесяцем
- углом
- ёлочкой

Вертикальные швы

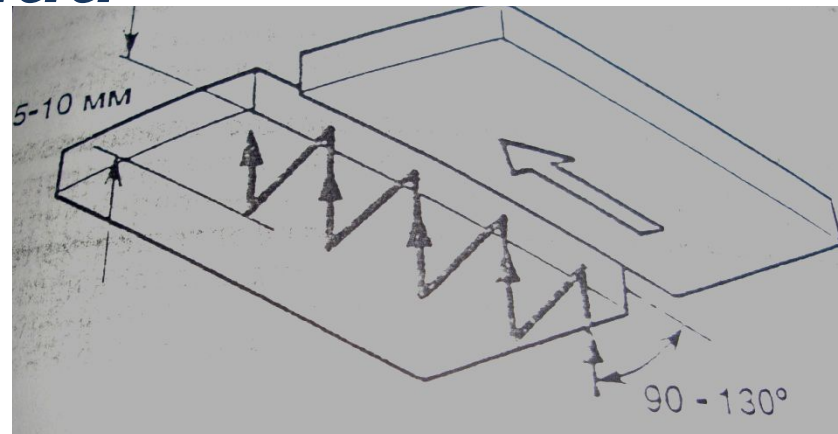
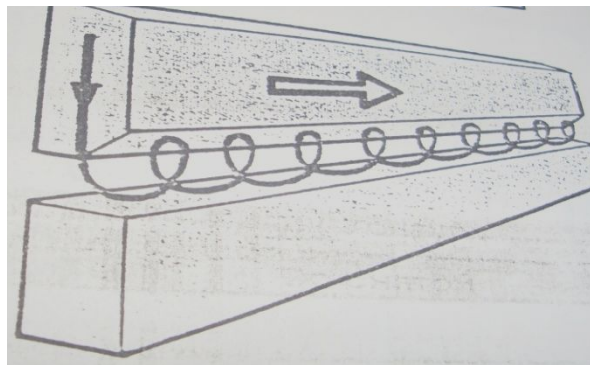


Ручная дуговая сварка

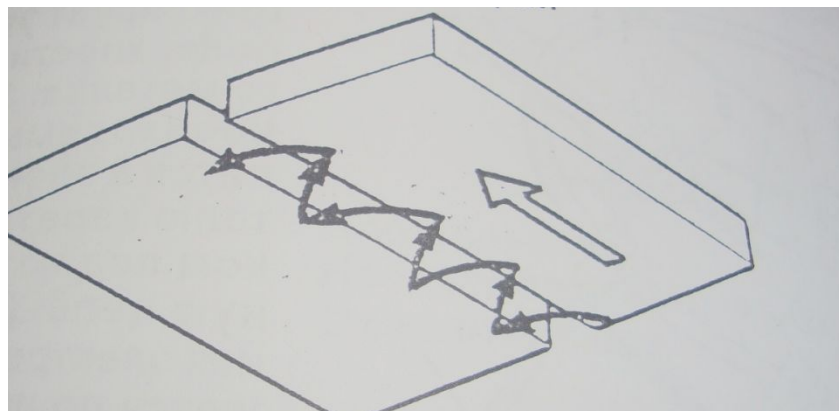
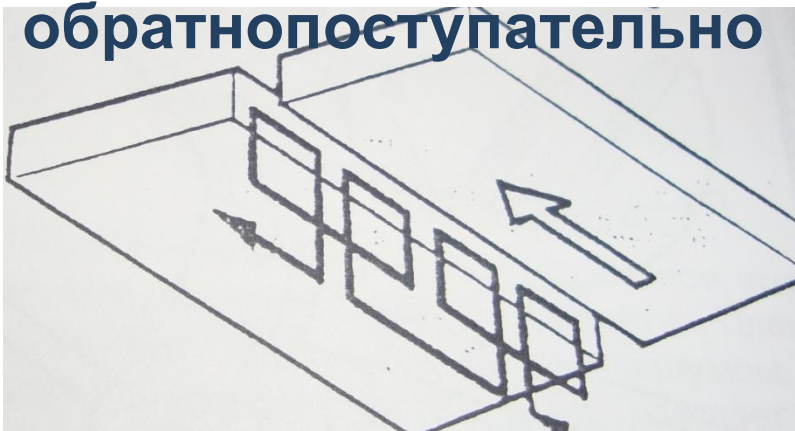
Особенности сварки в горизонтальном и потолочном положении

Горизонтальные

швы



Потолочные швы: лесенкой, полумесяцем, обратнопоступательно



Ручная дуговая сварка

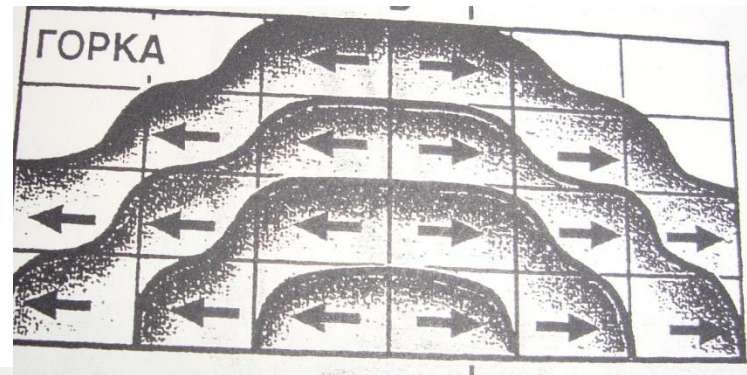
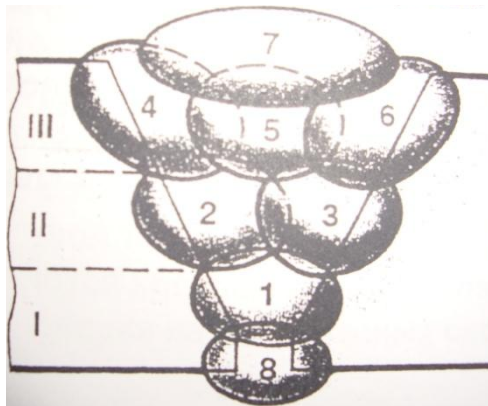
Особенности сварки тонкого металла

- Соединения с отбортовкой кромок
- На медных (временных) подкладках (отвод тепла) с нулевым зазором
- На стальных (остающихся подкладках)
- Спец. электроды с тонким покрытием (ОМА-2, УОНИ 13Т) - обратная полярность
- Спец. меры борьбы с деформациями

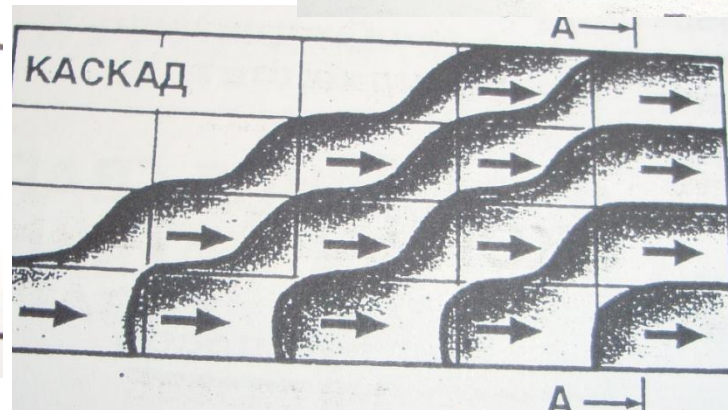
Ручная дуговая сварка

Особенности сварки металла большой толщины

Объемные сварочные напряжения - снижается
пластичность,



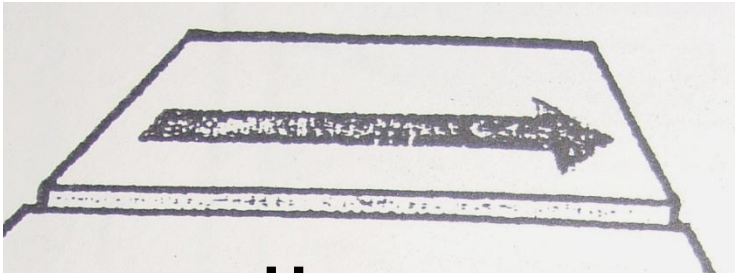
трещин



Длина
участков -
200 - 300 мм

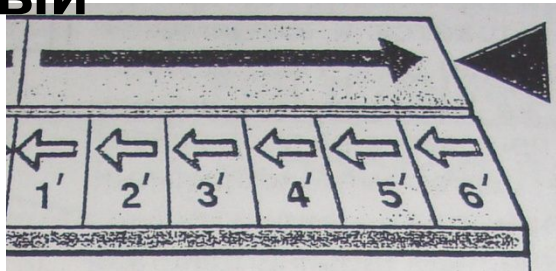
Ручная дуговая сварка

Особенности сварки швов различной длины

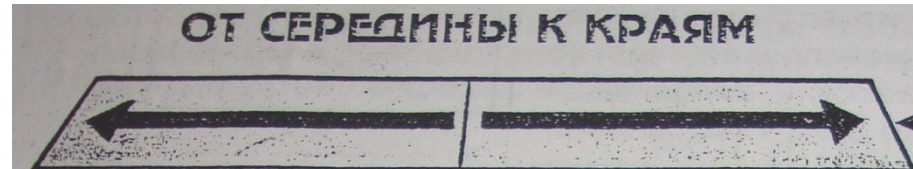


Напроход
короткие
швы

до 250 мм
обратноступенчатый



Длинные
швы



Средние
швы

250 - 1000 мм



Ручная дуговая сварка

Особенности сварки при низких температурах

Снижается ударная вязкость (пластичность), возможны неметаллические включения и поры

- *Сварка при температуре ниже 25 °С*
- *не допускается*
- *Кромки очищать от снега, льда, инея на ширину не менее 100 мм, просушить газовой горелкой*
- *Легированные стали - температура не ниже 15 °С по предварительно просушенным кромкам с подогревом*

Ручная дуговая сварка

Высокопроизводительные способы ручной сварки

- **Сварка по методу опирания** *(с глубоким проваром)*
- **Сварка пучком электродов** *(2 - 6 штук, соединенных в верхней части прихваткой)*
- **Сварка лежачим электродом**
- **Сварка трехфазной дугой**