

# Лекция № 13

«Контактные способы сварки.  
Наплавка. Металлизация»

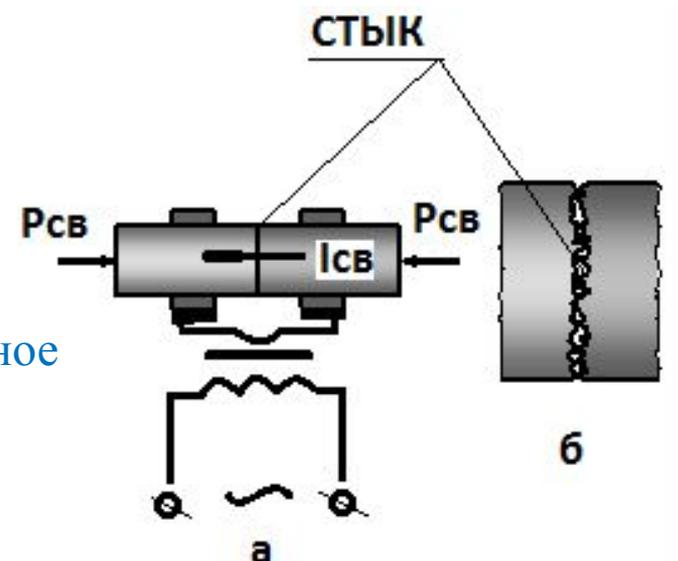
## *Контактная сварка*

- сварка давлением при которой нагрев, необходимый для сварки, создается электрическим током, проходящим через зону сварки

(т.к. теплота выделяется в местах контакта свариваемых элементов, появился термин «контактная сварка»).

Заготовки даже после тщательной обработки соприкасаются только в отдельных точках (б)

При прохождении эл. тока через заготовки максимальное тепло выделяется в месте их контакта, т.к. эл. сопротивление стыка выше, чем у сплошного металла заготовок (а).

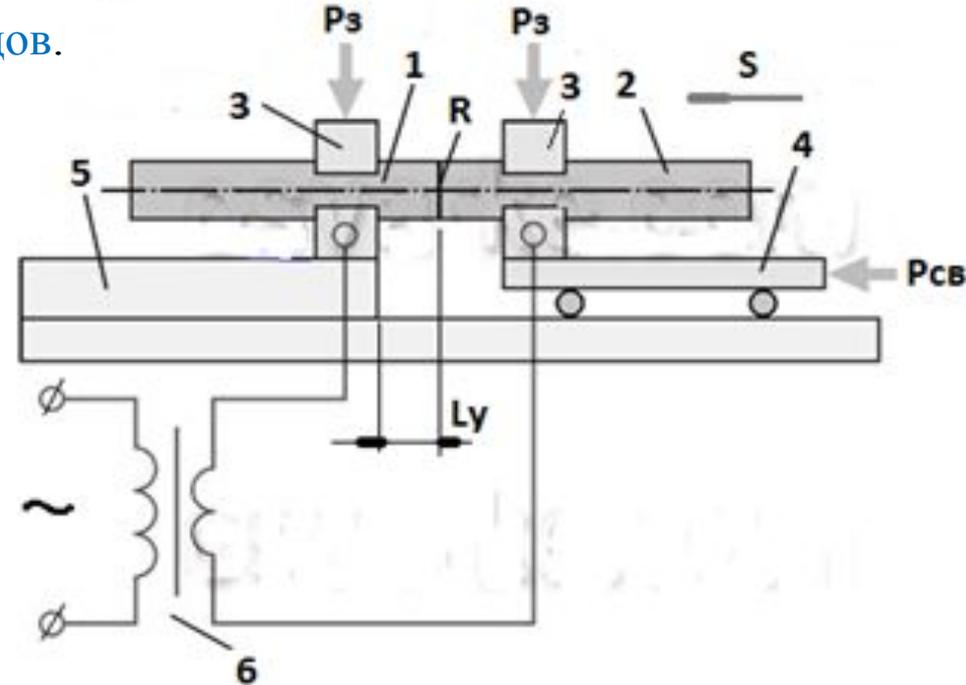


- металл в точках контакта нагревается до термопластичного состояния,
- заготовки сдавливаются сварочным усилием (давлением)  $P_{св}$ ,
- металл деформируется, оксидные плёнки разрушаются и вытесняются к периферии,
- чистые слои металла образуют сварное соединение.

*Различают стыковую, точечную и шовную контактную сварку*

**Стыковая контактная сварка** – сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов.

По заготовкам пропускается сварочный ток, происходит нагрев стыка, заготовки сдавливаются сжимающим усилием  $P_{св}$ .



- 1,2 – заготовка;
- 3 – губки зажима-электрода (усилие  $P_z$ );
- 4 – подвижная плита (обеспечивает  $P_{св}$ );
- 5 – неподвижная плита машины;
- 6 - источник питания – понижающий св. трансформатор;

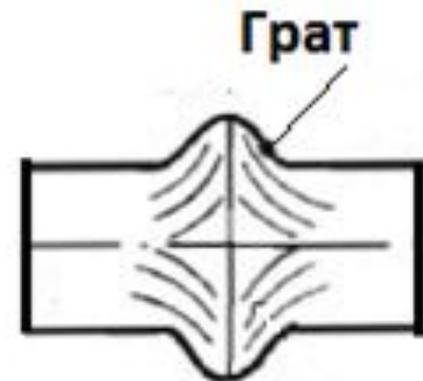
$L_y$  – установочная длина (расстояние от зажимов-электродов до торцов заготовок).

При уменьшении  $L_y$  уменьшается зона нагрева, затрудняется деформация, не полностью выдавливаются загрязнения, теряется теплота в электродные губки машины.

При увеличении  $L_y$  возможно искривление деталей от  $P_{св}$ .

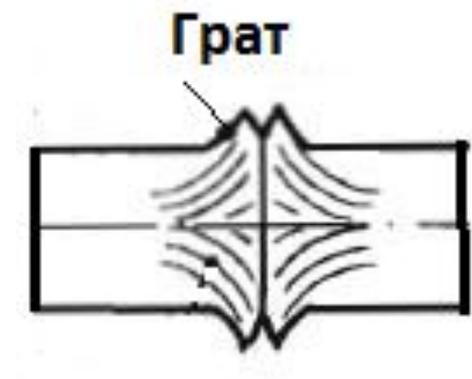
**Различают два вида стыковой контактной сварки:**  
**сварку сопротивлением и сварку оплавлением**

**1. Стыковая сварка сопротивлением** - контактная сварка, при которой к деталям вначале прикладывают давление, затем пропускают ток, температура стыка достигает  $T_{св} = 1000-1200^{\circ}\text{C}$ , при которой происходит осадка металла.



**Осадка при сварке** - операция местной пластической деформации свариваемых частей при сварке с применением давления.

**2. Стыковая сварка оплавлением** - контактная сварка, при которой детали поступательно сближаются и ток, протекающий через определенные точки контакта, вызывает искровые вспышки и выбросы расплавленного металла.



*Преимущества сварки оплавлением перед сваркой сопротивлением:*

- При оплавлении выравниваются неровности стыка, а окислы и загрязнения удаляются (не требуется подготовки места соединения).
- можно сваривать заготовки с различными сечениями в зоне контакта.
- можно сваривать разнородные металлы.

**Точечная контактная – сварка**, при которой шов получается в точке между деталями, расположенными между электродами.

Макс. нагрев - в зонах контакта заготовок друг с другом.

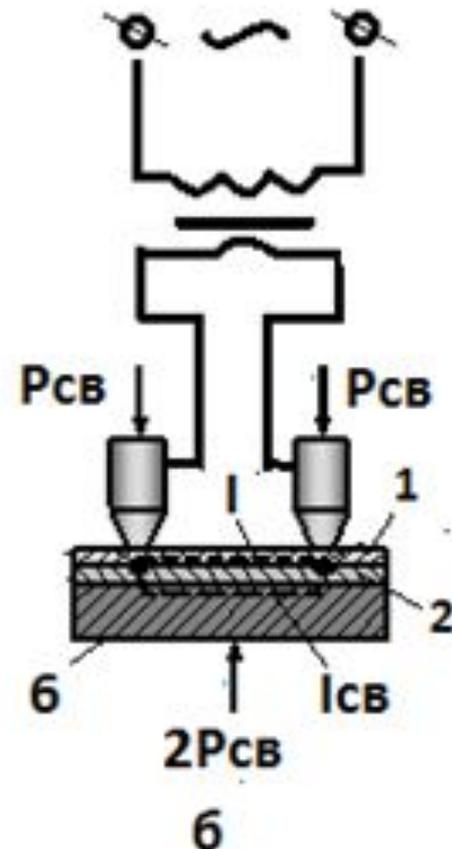
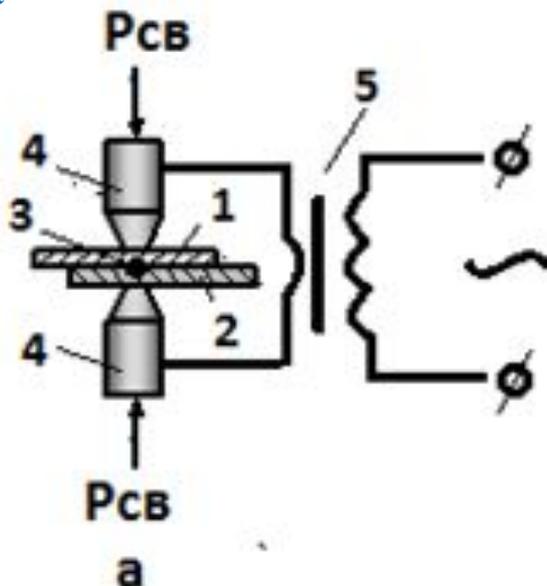
1 и 2 – заготовки;

3 – литая сварная точка;

4 - медные электроды;

5 – трансформатор;

$R_{сж}$  – усилие (давление) сжатия.



*а и б – двусторонняя и односторонняя точечная контактная сварка*

После отключения тока  $R_{сж}$  остается неизменным, либо увеличивается до  $R_{п}$  (усилие поковки точки). Проковка с усилием  $R_{п}$  предотвращает трещины и раковины (поры). После небольшой выдержки давление снимается.

**Односторонней сваркой соединяют заготовки одновременно в двух и более точках. В автомобиле- и самолетостроении используют многоточечные машины, которые могут иметь до 100 пар электродов и одновременно сваривать 200 точек.**

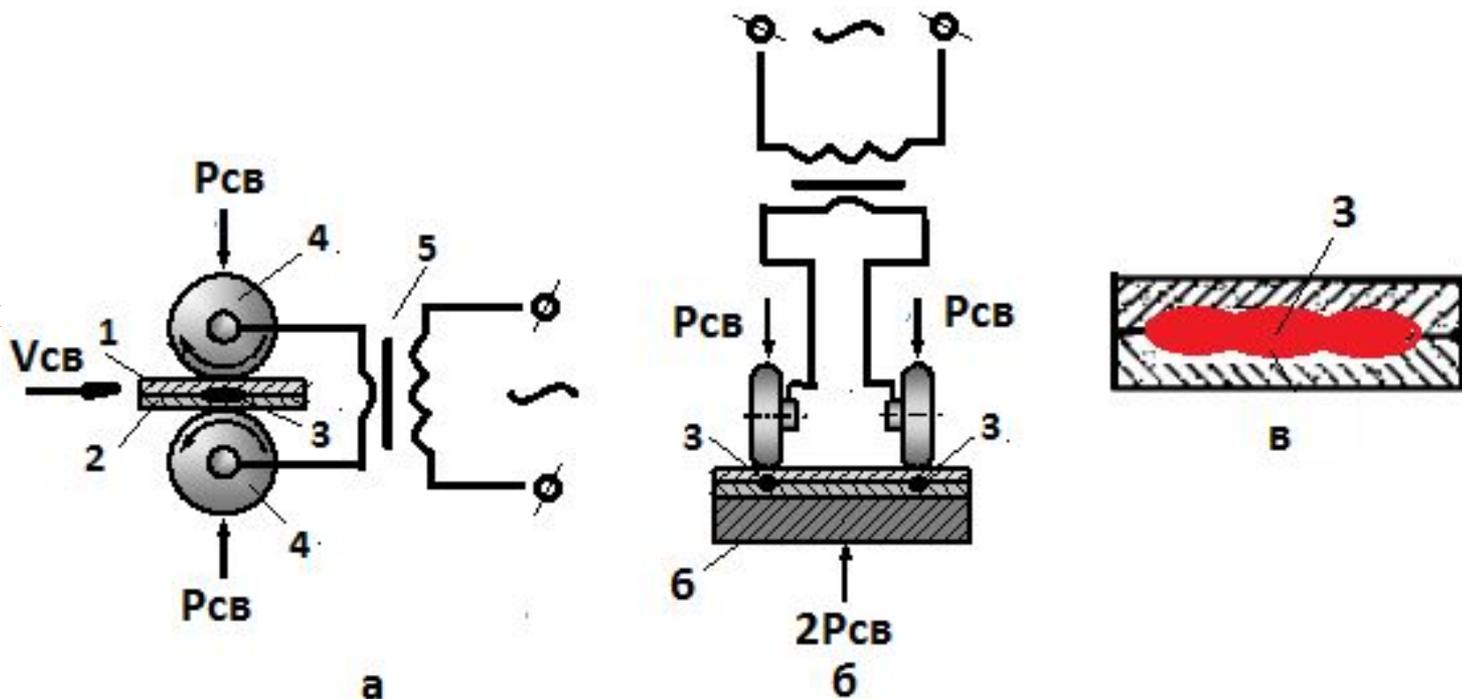
**Шовная сварка** - контактная сварка, при которой усилие сжатия прикладывается непрерывно, ток течет непрерывно или прерывисто.

Детали располагаются между роликовыми электродами или роликовыми электродами и оправкой – образуется ряд сварных точек, которые перекрывают друг друга.

а – двусторонняя шовная сварка;

б – односторонняя шовная сварка;

в – сварной шов



1 и 2 - заготовки; 3 – шов; 4 – медные роликовые электроды; 5 – трансформатор;  
 $V_{св}$  – скорость сварки;  $P_{сж}$  – усилие сжатия;

При сварке с перекрытием точек – шов сплошной (герметичный (в)).

При сварке без перекрытия – шов, как при точечной сварке.

Сварка выполняется при двустороннем (а) и одностороннем (б) расположении электродов.

# СВАРКА АККУМУЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГИЕЙ

## *Конденсаторная сварка*

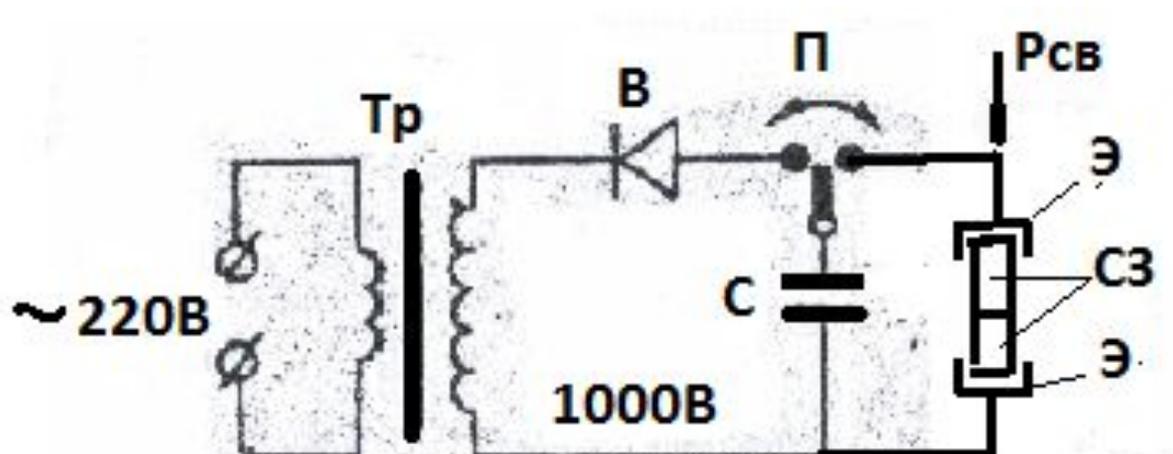
- сварка давлением, при которой сварка выполняется аккумулированной энергией.

Энергия накапливается в конденсаторах (левое положение перекл. П) при их зарядке от источника тока (выпрямителя В), а затем в процессе разряда преобразуется в теплоту, которая выделяется в *контакте* между заготовками.

### Способы конденсаторной сварки:

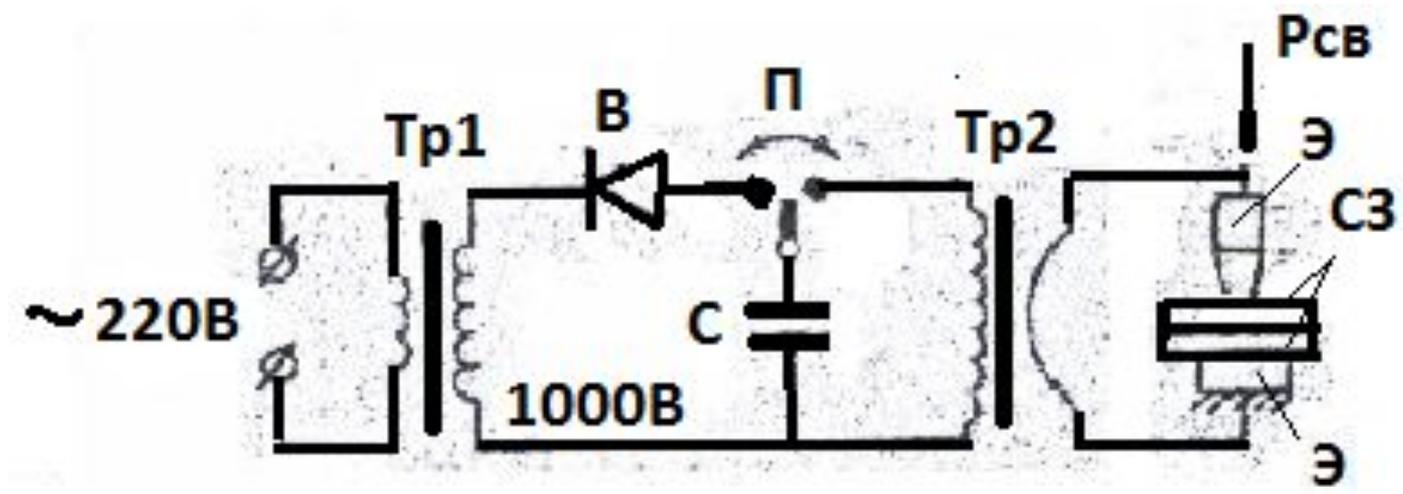
#### *Бестрансформаторная и трансформаторная*

*Бестрансформаторная* – конденсатор разряжается непосредственно на заготовки



Используется в основном для стыковой сварки

**Трансформаторная** - конденсатор разряжается на первичную обмотку трансформатора, ко вторичной обмотке которого подключены электроды, воздействующие на заготовки



Чаще используется для точечной или шовной сварки, реже – для стыковой

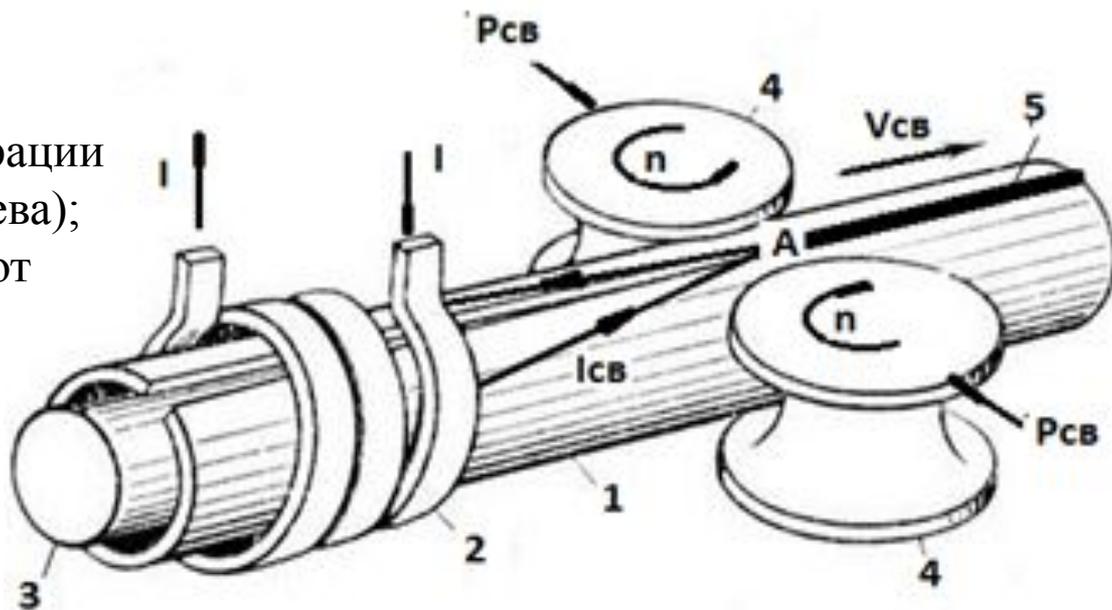
## Индукционная сварка

- сварка давлением, при которой нагрев происходит вихревыми токами, наводимыми в свариваемом изделии магнитным полем индуктора, подключенного к генератору ТВЧ.

### Индукционная схема токоподвода

Ток  $I$  от высокочастотного генератора создает в индукторе магнитное поле, которое наводит в заготовке эл. ток  $I_{св}$ , который проходя по периметру заготовки отклоняется в точке схождения кромок  $A$ , где создается максимальная концентрация энергии, металл быстро нагревается до  $T$  термопластического состояния.

- 1 – трубная заготовка;
  - 2 – кольцевой индуктор;
  - 3 – ферритовый сердечник (способствует большей концентрации энергии, уменьшает зону разогрева);
  - 4 – обжимные валки (перемещают изделие и создают  $P_{св}$ );
  - 5 – сварной шов.
- $P_{св}$  – сварочное усилие;  
 $V_{св}$  – скорость сварки.



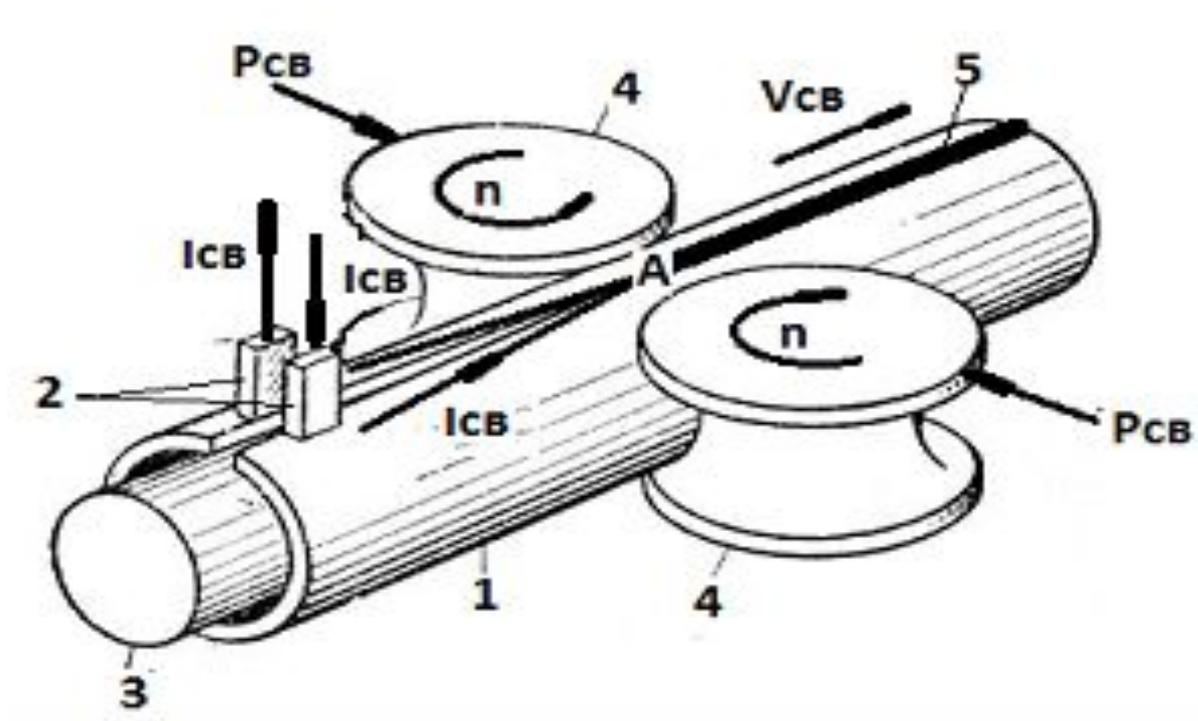
## **Высокочастотная сварка**

- контактная сварка, при которой нагрев происходит переменным током (10...450кГц), от высокочастотного генератора.

**Кондукционная схема токоподвода**  
аналогична предыдущей.

Ток  $I_{св}$ , поступающий от высокочастотного генератора, подводится к изделию через скользящие токоподводящие контакты 2.

Проходя по периметру заготовки и встречая зазор между свариваемыми кромками, ток отклоняется к точке схождения кромок А, где создается максимальная концентрация энергии, что обеспечивает быстрый нагрев металла.



## Диффузионная сварка

- сварка давлением, при которой детали контактируют при установленном непрерывном давлении и нагреваются в области контакта или во всем объеме при установленной температуре в течение установленного времени.

Сварное соединение образуется в вакууме в результате взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии.

1 – гидроцилиндр;

2 – шток;

3 – водоохлаждаемая рабочая камера (разрежение  $10^{-5}$  мм.рт.ст.);

4 - стол;

5 – нагреватель ( $T_{н} = 600 \dots 800^{\circ}\text{C}$ )

6 – заготовки;

Вн – вакуумный насос;

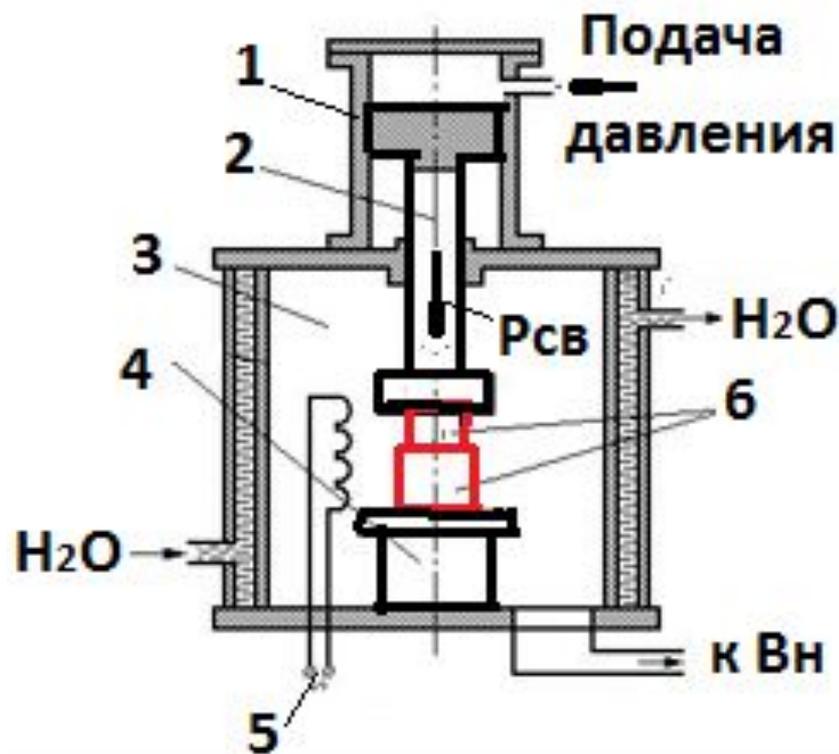
Рсв – сдвигающее усилие.

Поверхности тщательно очищают.

Продолжительность сварки – около 5 мин.

В результате нагрева в вакууме поверхности очищаются от окислов и загрязнений.

Сварные швы, обладают высоким качеством и не имеют  $\sigma_{вн}$ .



## *Сварка прокаткой*

- сварка давлением, при которой сжимающая сила, прикладываемая к нагретым или холодным заготовкам, создается прокатными валками.

Применяется для получения биметаллических (многослойных) изделий.

*Горячую сварку прокаткой* производят с предварительным нагревом пакетов.

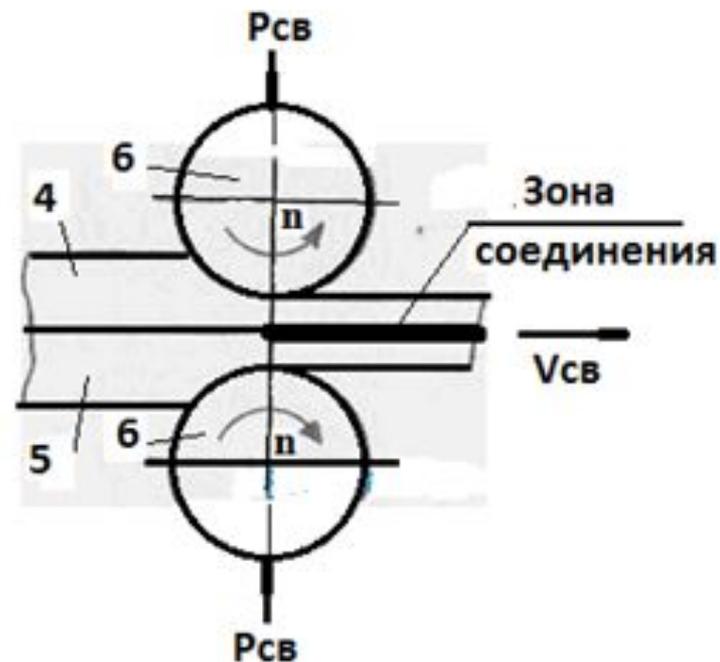
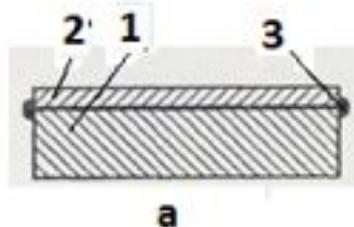
Для уменьшения окисления заготовок их герметизируют швом 3 по периметру (а), сварку прокаткой также производят в вакууме или инертном газе.

*Холодную сварку прокаткой* применяют для получения двух- или трехслойных биметаллов:

(сталь + слой из цветных металлов, например сталь + медь, сталь + латунь, медь + алюминий, алюминий + титан, алюминий + сталь + алюминий)

1 – основной слой;  
2 – рабочий (плакирующий) слой;  
3 – герметизирующий сварной шов.

Поверхности слоев 4 и 5 тщательно зачищают, валки 6 создают усилие  $P_{св}$  и сообщают заготовкам скорость  $V_{св}$ .



# МЕХАНИЧЕСКИЙ КЛАСС

(сварка в тв. состоянии или давлением без нагрева):

ультразвуковая сварка; сварка трением; сварка взрывом; холодная сварка.

## Ультразвуковая сварка

- сварка давлением, при которой механические колебания высокой частоты и малой амплитуды и статическая сила формируют шов между двумя свариваемыми заготовками при температуре значительно ниже температуры плавления металла.

Силы трения возникают от действия колебаний с УЗ частотой 15-30 кГц.

(магнитострикционный эффект - изменение размеров феррита от переменного магн. поля).

Амплитуда колебаний на наконечнике – от 1–3 мкм ( $A$ ) до десятков мкм ( $A_1$ ).

### Применяется

для получения нахлесточных соединений:  
сваривают фольгу, тонкие листы, проволоку.

$M$  – момент;

$R_{св}$  – сжимающая сила  $R_{св}$ ;

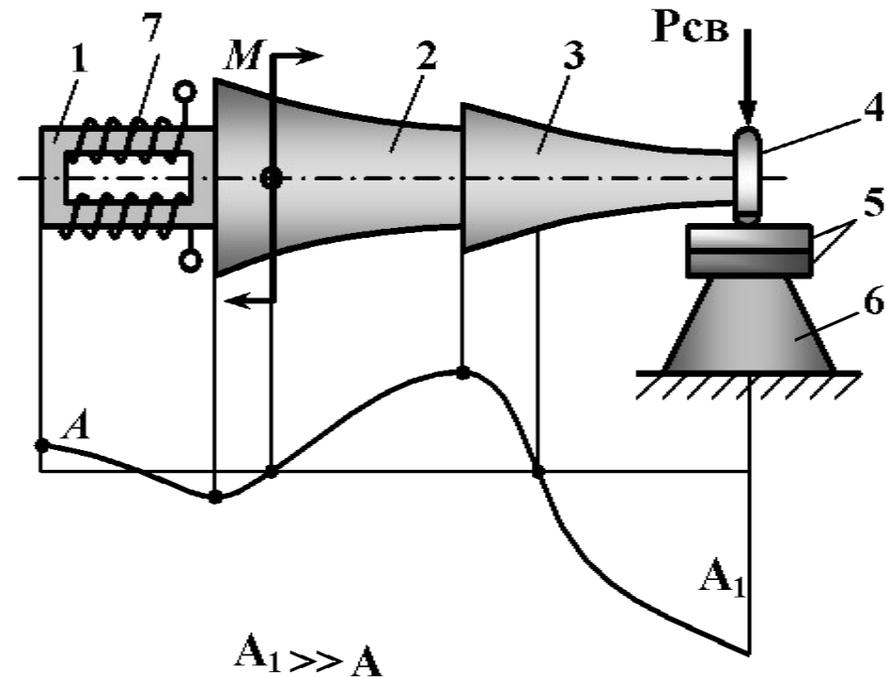
1 – магнитострикционный преобразователь;

2 – трансформатор продольных колебаний;

3 – инструмент; 4 – наконечник;

5 – заготовки; 6 – опора; 7 – катушка;

2,3 и 4 – волновод.



## Сварка трением

– сварка давлением с нагревом поверхностей в результате их трения друг о друга.

Трение поверхностей осуществляется вращением или возвр.-поступательным движением.

Свариваемые заготовки 1 и 2 (рис. а) устанавливаются в зажимах, один из которых 3 неподвижен, а второй 4 совершает вращательное и поступательное движения.

Заготовки сжимаются силой  $P_{св}$ , после чего включается механизм вращения, окисные пленки разрушаются и удаляются.

Поверхности трения нагреваются до 1000–1300°C, вращение прекращают, силу  $P_{св}$  увеличивают – образуются прочные металлические связи.

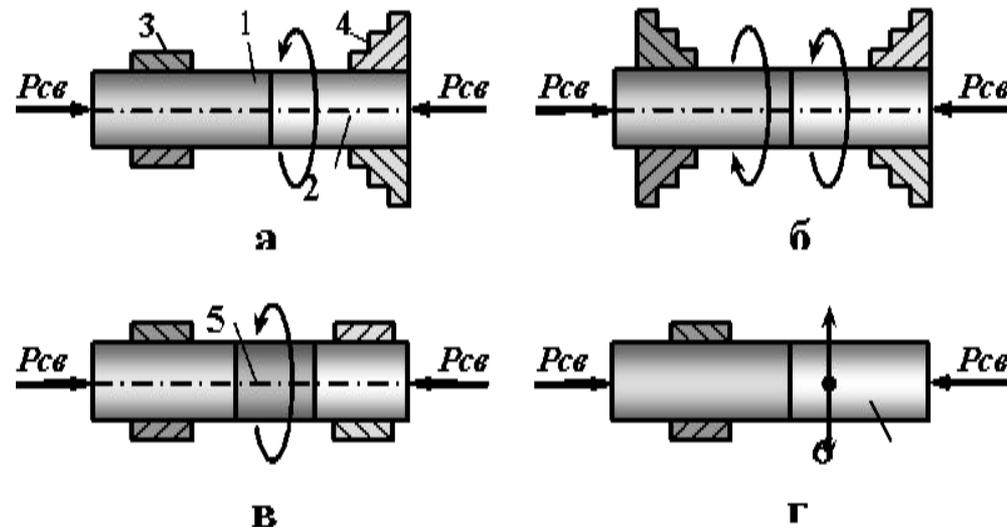
### Способы сварки трением:

**а** – вращение одной заготовки при неподвижной более массивной заготовке;

**б** – вращение двух заготовок примерно одинаковой массы;

**в** – вращение вставки при большой массе обеих свариваемых заготовок;

**г** – возвратно-поступательное перемещение заготовки, когда вращение заготовок затруднено или невозможно.



## Сварка взрывом

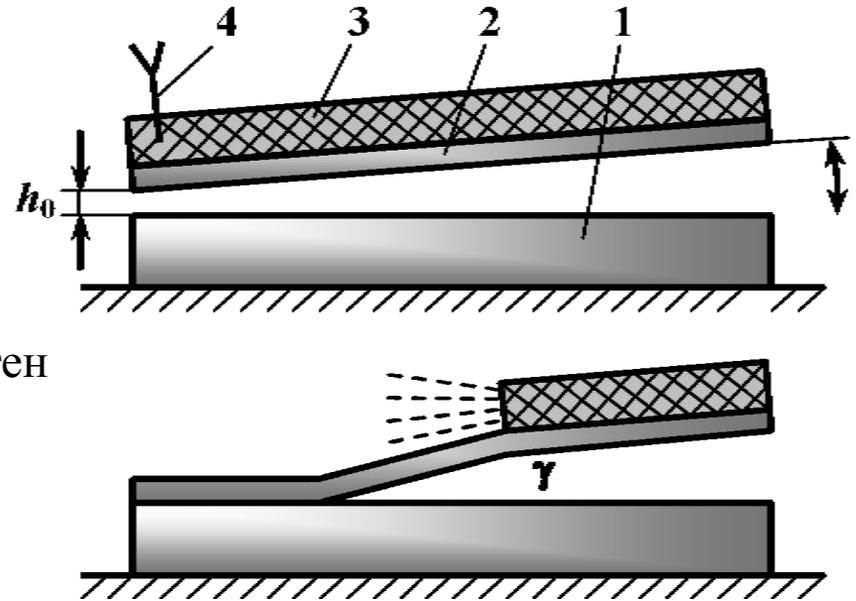
– сварка давлением, при которой заготовки свариваются при соударении друг с другом вследствие детонации пирозаряда.

- 1 – неподвижная заготовка;
- 2 – метаемая заготовка;
- 3 – взрывчатое вещество – аммонал, тол, гексоген (вес 1-2% от массы метаемой пластины);
- 4 – детонатор;

$\alpha = 2-16^\circ$  – исходный угол между заготовками;

$h_0 = 2-3$  мм – исходное расстояние между заготовками;

$\gamma$  – угол, образовавшийся при соударении свариваемых заготовок.



Струя взрыва разрушает и уносит плёнки окислов и загрязнения.

Теплота, выделяющаяся при столкновении деталей, способствует сварке.

Отдельные участки поверхностей оплавляются, а на других процесс приближается к холодной сварке.

Следующее за углом  $\gamma$  соударение заготовок сближает поверхности до расстояний межатомного взаимодействия – происходит схватывание по всей площади соединения.

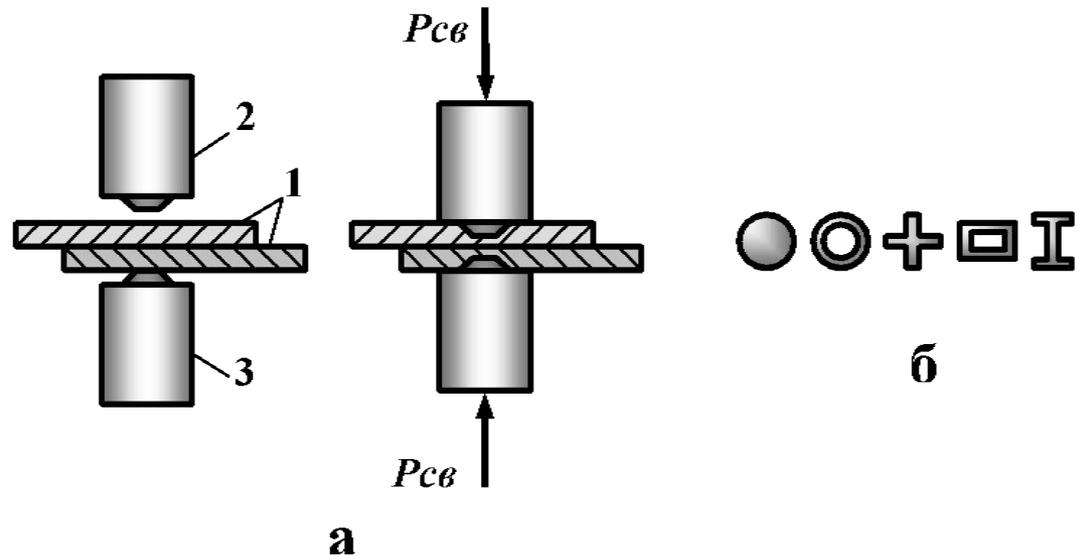
## Холодная сварка

- сварка давлением, при которой используют только длительное давление, вызывающее значительную пластическую деформацию.

*Физическая сущность:* заготовки сдавливаются и пластически деформируются, окисные пленки разрушаются и удаляются из зоны контакта течением металла – происходит соединение поверхностей вследствие диффузии и образования металлических связей

Получают стыковые и нахлесточные соединения, выполняемые точечной, стыковой и шовной сваркой, без подведения эл. тока (без нагрева) и при значительной пластической деформации.

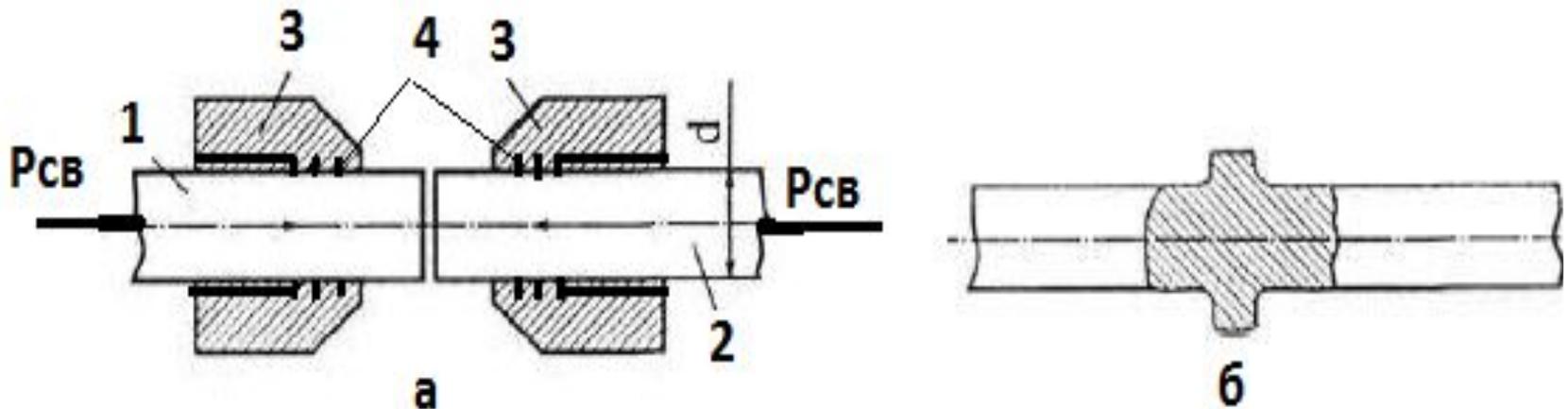
**Точечная холодная сварка** (а) – поверхности заготовок 1 зачищают и обезжиривают.



К пуансонам 2 и 3 прикладывается  $P_{св}$  и рабочие выступы (высота 0,7...0,8 от толщины свариваемого металла) проникают в заготовки.

Свариваемые точки имеют форму, определяемую формой рабочих выступов пуансонов (б)

## Стыковая холодная сварка



а – положение перед сваркой; б – сварное соединение;  
1, 2 – свариваемые детали; 3 – пуансоны; 4 – насечки;  
 $d$  – диаметр заготовок;  $P_{св}$  – сжимающее усилие (давление)

Поверхности предварительно зачищаются и обезжириваются.

К пуансонам прикладывается  $P_{св}$ , под действием которого образуется Св-С (б) .

Применяется при сварке алюминия, меди, свинца, никеля, золота, серебра и их сплавов; однородных и разнородных металлов в приборостроении, электромонтажном производстве.

## НАПЛАВКА (сваркой)

- создание сваркой слоя металла на детали для получения желаемых свойств или размеров

В случае применения для наплавки сварки давлением употребляется термин *наварка*

Различают изготовительную и восстановительную наплавку.

*Изготовительная наплавка* служит для получения новых биметаллических (многослойных) изделий.

Они состоят из основы (основной металл), обеспечивающей конструкционную прочность, и наплавленного слоя (наплавленный металл) с особыми свойствами (износостойкость, жаростойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д.)

*Восстановительная наплавка* применяется для восстановления первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей.

Наплавленный металл может быть близок по составу и свойствам основному металлу (восстановительная размерная наплавка) или отличаться от них (восстановительная износостойкая наплавка)

## Технологические особенности наплавки

Необходимо стремиться к минимальному проплавлению основного металла, т.е. к уменьшению доли основного металла в металле шва ( $\gamma_0$ ).

$\gamma_0$ , % - зависит от способа и режима наплавки.

$$\gamma_0 = [F_{\text{пр}} / (F_{\text{пр}} + F_{\text{н}})] \times 100, \%$$

где  $F_{\text{пр}}$  – площадь сечения расплавленного осн. металла (площадь проплавления).

$F_{\text{н}}$  – площадь сечения наплавленного металла (площадь наплавки).

*Основные требования к качеству наплавки:*

- надежное сплавление основного металла с наплавленным;
- отсутствие дефектов в наплавленном металле;
- обеспечение заданных свойств наплавленного металла.

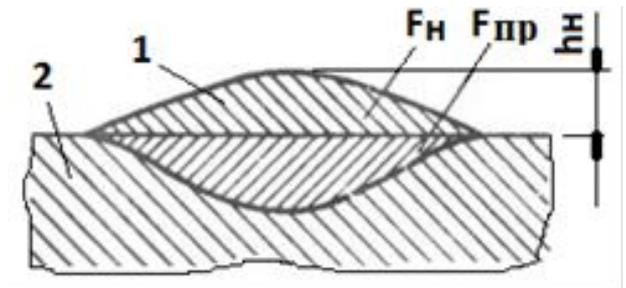
Поверхность наплавки выравнивают на металлорежущем оборудовании.

*Уменьшение напряжений:*

- минимальная протяженность ЗТВ;
- общий предварительный подогрев изделия до 200...400 °С;
- высокотемпературный отпуск после наплавки.

*Уменьшение деформаций:*

- жесткое закрепление изделия в приспособлении;
- локальное охлаждение зоны наплавки.



**Сечение наплавленного валика**

2 – основной металл;

1 – наплавленный металл;

hн – толщина наплавленного слоя.

## Классификация наплавочных материалов:

1. **Стали** (углеродистые и высокоуглеродистые, хромомарганцовистые, хромистые и высокохромистые, хромоникелевые, высоковольфрамовые и молибденовые);
2. **Специальные сплавы на основе железа** (высокохромистые чугуны, сплавы с хромом и бором, сплавы с кобальтом, молибденом и вольфрамом);
3. **Сплавы на основе никеля и кобальта** (хромоникелевые сплавы с бором и кремнием, никелевые сплавы с молибденом, кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом);
4. **Карбидные сплавы** (с карбидами вольфрама, ванадия, хрома);
5. **Сплавы на медной основе** (бронзы алюминиевые, оловянно-фосфористые).

**Наплавка может выполняться плавящимся и неплавящимся электродом.**

Применение нескольких электродов позволяет повысить производительность наплавки. Ленточные электроды позволяют снизить долю расплавляемого осн. металла (дуга в этом случае перемещается по торцу ленты от одного конца к другому.)

Наплавка неплавящимся электродом может выполняться как с присадкой, так и без присадки с использованием порошков и флюсов, предварительно нанесенных на наплавляемую поверхность.

# Способы наплавки

Для наплавки используют большинство способов сварки

## *плавлением:*

- ручная дуговая наплавка;
- автоматическая дуговая наплавка под флюсом;
- электрошлаковая наплавка с использованием нескольких электродов (толщина наплавляемого слоя не менее 5 мм)
- разновидности наплавки с использованием плазменной дуги или газового пламени;
- лазерная наплавка (исправление точечных дефектов, не приводит к деформации изделия);

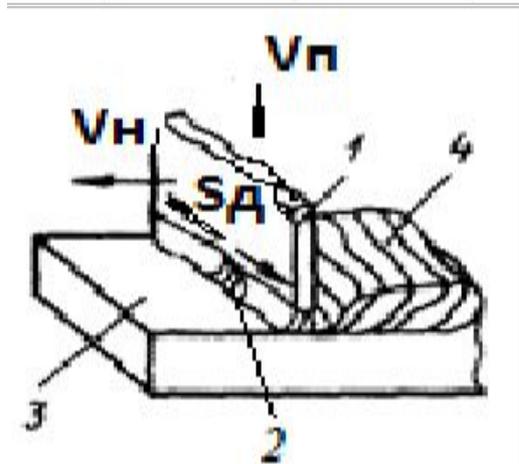
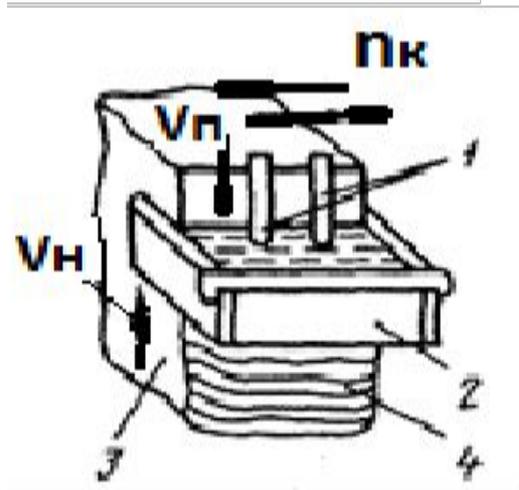
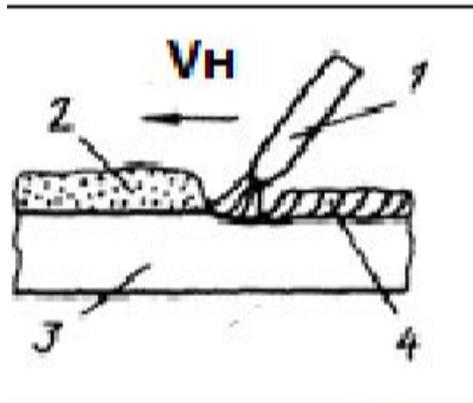
## *давлением:*

- электроконтактная наварка проволоки и ленты;

## *специализированные способы:*

- индукционная наплавка порошкообразным сплавом.

## Схемы способов наплавки



Наплавка неплавящимся угольным (графитовым) электродом с расплавлением слоя сыпучего зернистого наплавочного материала, предварительно уложенного на наплавляемую поверхность

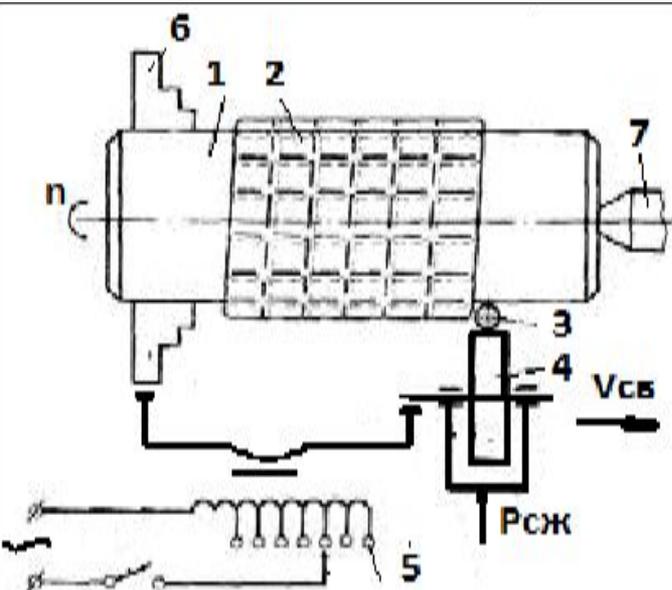
1 – неплавящийся угольный (графитовый) электрод, 2 – сыпучий зернистый наплавочный материал, 3- наплавляемая деталь; 4 - наплавленный слой,  $V_n$  – скорость наплавки

Электрошлаковая наплавка плавящимися электродами (электродными проволоками) с перемещаемым медным ползуном

1 – электродные проволоки, 2 – медный водоохлаждаемый ползун, 3- наплавляемая деталь; 4 - наплавленный слой,  $V_n$  – скорость наплавки,  $V_n$  – скорость подачи электродных проволок,  $\Pi_k$  – частота поперечных колебаний электродов.

Наплавка ленточным электродом в защитных газах или под флюсом

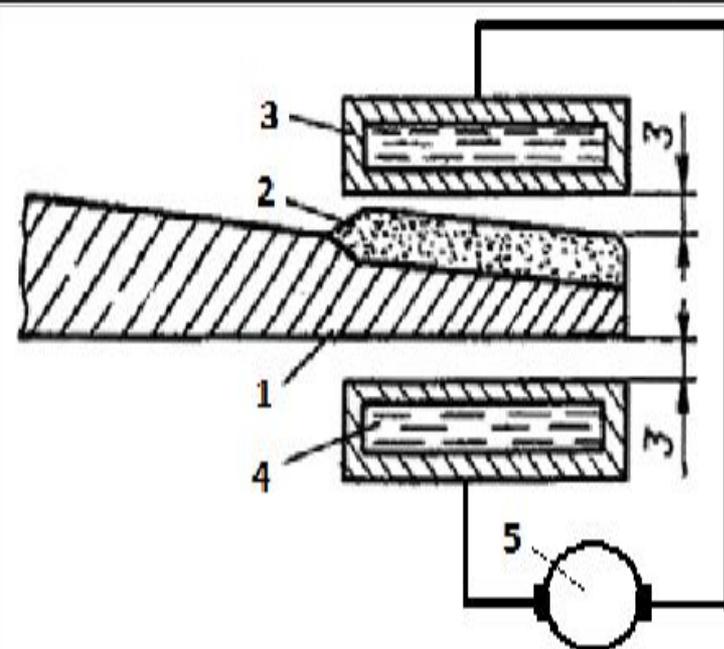
1 – ленточный электрод, 2 – сварочная дуга, 3- наплавляемая деталь; 4 - наплавленный слой,  $V_n$  – скорость наплавки,  $V_n$  – скорость подачи ленточного электрода;  $S_d$  – перемещение дуги по торцу ленточного электрода.



### Электроконтактная наварка проволоки

1 – наплавляемая заготовка; 2 – наплавленный металл; 3 – присадочная проволока, 4 – наплавляющий ролик; 5 – понижающий трансформатор, 6 - трехкулачковый патрон; 7 – центр;  $P_{сж}$  – усилие сжатия;  $V_{св}$  – скорость сварки;  $\omega$  – частота вращения наплавляемого изделия.

Процесс аналогичен шовной сварки одним дисковым электродом



### Индукционная наплавка порошкообразным сплавом

1 – наплавляемая заготовка; 2 – порошкообразный наплавочный материал, предварительно нанесенный на наплавляемую поверхность; 3 – индуктор; 4 – охлаждающая жидкость; 5 – источник питания токов высокой частоты

### Сравнительная характеристика некоторых способов наплавки

Способ наплавки	Производительность*, кг/ч	Доля основного металла $\gamma_0$ , %	Толщина наплавленного слоя $h_n$ , мм
Угольным электродом порошком	0,5-3,0	1	0,3-3,0
Аргоно-дуговая неплавящимся электродом	1,0-7,0	10-30	2,5-5,0
Плавящимся электродом в защитном газе	1,5-9,0	30-60	3,0-5,0
Ручная дуговая покрытыми электродами	0,8-3,0	20-50	2,0-5,0
Под флюсом одной проволокой	2,0-12	30-60	3,0-5,0
Под флюсом многоэлектродная	5,0-40	15-30	5,0-8,0
Под флюсом ленточным электродом	5,0-40	10-20	2,5-5,0
Электрошлаковая электродными проволоками	20-60	10-20	6,0-50
Плазменная порошком	0,8-6,0	5-15	0,3-6,0

\*Производительность - масса металла, наплавленного в единицу времени

## *Металлизация (напыление)*

– это нанесение металлического покрытия на поверхность изделия в результате осаждения на ней жидкого металла, распыляемого газовой струей.

- можно покрывать поверхности деталей почти из всех металлов, в т.ч. сложной формы
- не приводит к структурным изменениям в покрываемом материале, т.к. нагрев до  $T=70^{\circ}\text{C}$  (можно наносить покрытие на любые материалы: металл, пластмассу, дерево..).

Толщина наносимого слоя – от 0,02 до 10 мм и более.

Применяют для защиты от:

- изнашивания (изнашивающиеся части валов, подшипников);
- коррозии (цистерны, бензобаки, мосты);
- в декоративных целях.

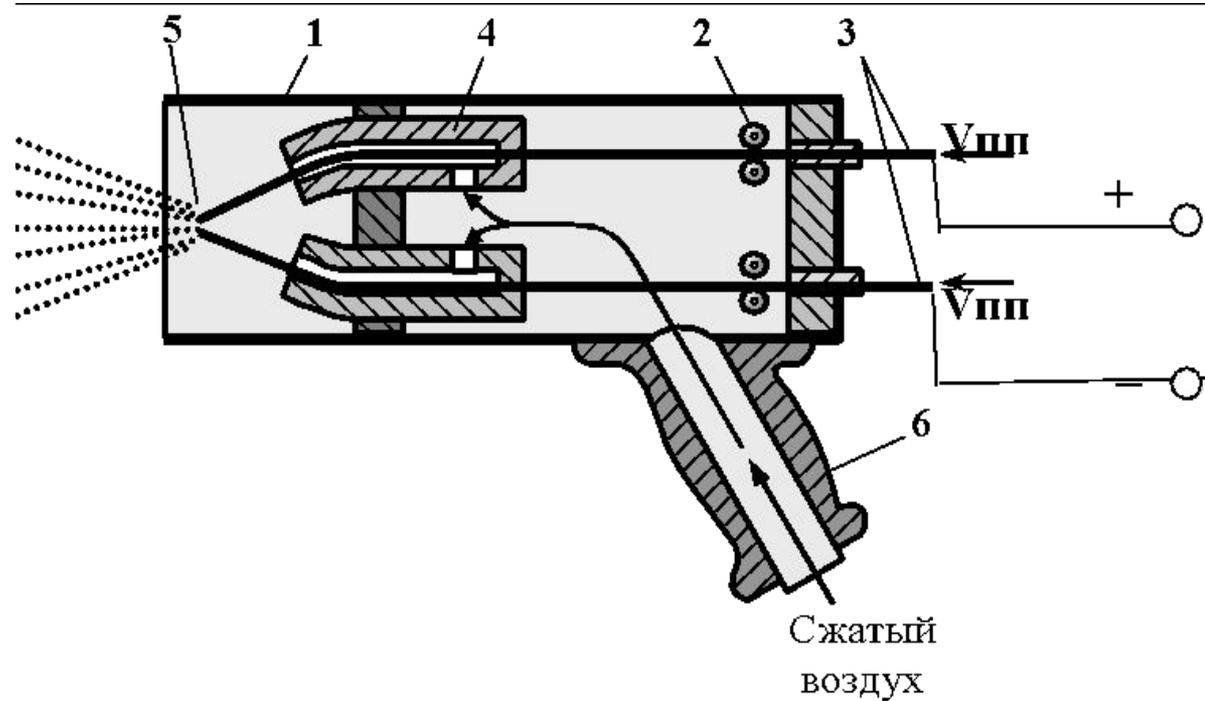
По сравнению с наплавленным металлизированный слой имеет меньшую прочность и плотность – металлизацией нельзя восстанавливать ответственные изношенные детали.

# СПОСОБЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ (НАПЫЛЕНИЯ)

## 1. Дуговая металлизация (напыление)

### Дуговой металлизатор:

- 1 – корпус;
- 2 – механизм протягивания;
- 3 – электродные проволоки;
- 4 – направляющий мундштук;
- 5 – точка возбуждения эл. дуги;
- 6 – рукоятка;



$V_{пп}$  – скорость подачи проволоки.

При соприкосновении проволок 3 в точке 5 в результате короткого замыкания возникает дуга, которая расплавляет металл.

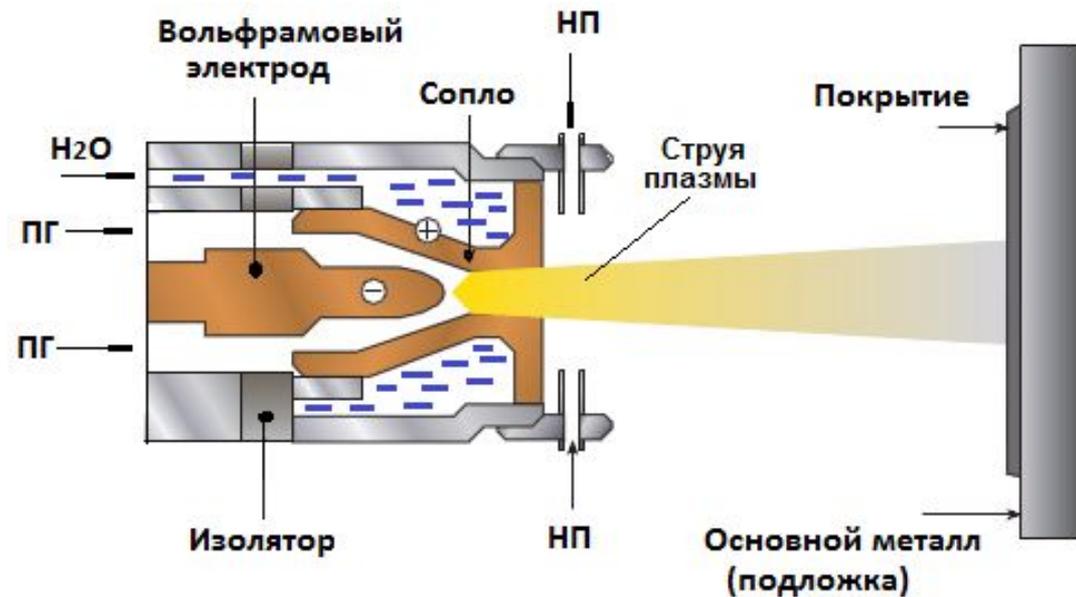
Одновременно с этим в зону дуги поступает сжатый воздух, который уносит капли расплавленного металла на покрываемую поверхность.

## 2. Плазменная металлизация (газотермическое напыление)

ПГ – плазмообразующий газ;  
НП – напыляемый порошок.

Эл. дуга зажигается между соплом (+) и вольфрамовым электродом (-).

Плазмообразующий газ (Ar, He, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> или их смеси), проходя через дугу, ионизируется, что приводит к возникновению струи плазмы (Т до 16000 °С).



НП подается в струю плазмы, плавится и переносится на предварительно подготовленную поверхность, налипая на которую образует покрытие.

Высокая температура плазмы позволяет проводить напыление тугоплавких материалов.

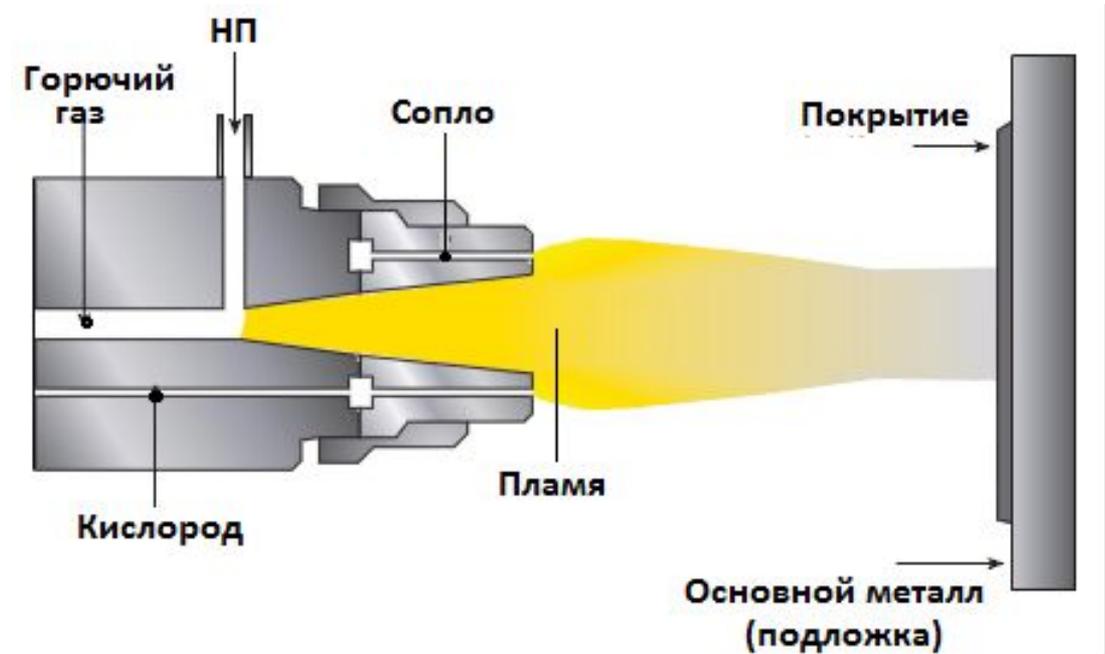
Температуру и скорость плазменной струи можно регулировать формой и диаметром сопла и режимом напыления (напыляемые материалы: металлы, керамика, органические материалы).

Покрытия обладают высокой плотностью и хорошим сцеплением с подложкой (прочность сцепления в 2–4 раза выше, чем при дуговой металлизации).

Вместо порошка можно использовать проволоку (пруток) диаметром от 1 до 2,5 мм

### 3. Порошковое газопламенное напыление

*Источник тепловой энергии* – пламя, образующееся в результате горения горючего газа (ацетилен, пропан или водород) в струе кислорода на выходе из сопла газовой горелки.



Напыляемый порошок (НП) поступает в горелку сверху из бункера, разгоняется потоком горючего газа и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагревание.

Частицы порошка попадают на предварительно подготовленную поверхность, налипают на нее и образуют покрытие.

Напыление – материалами,  $T_{пл}$  которых ниже температуры газового пламени.

*Плотность и сцепление с подложкой, как при дуговой металлизации.*