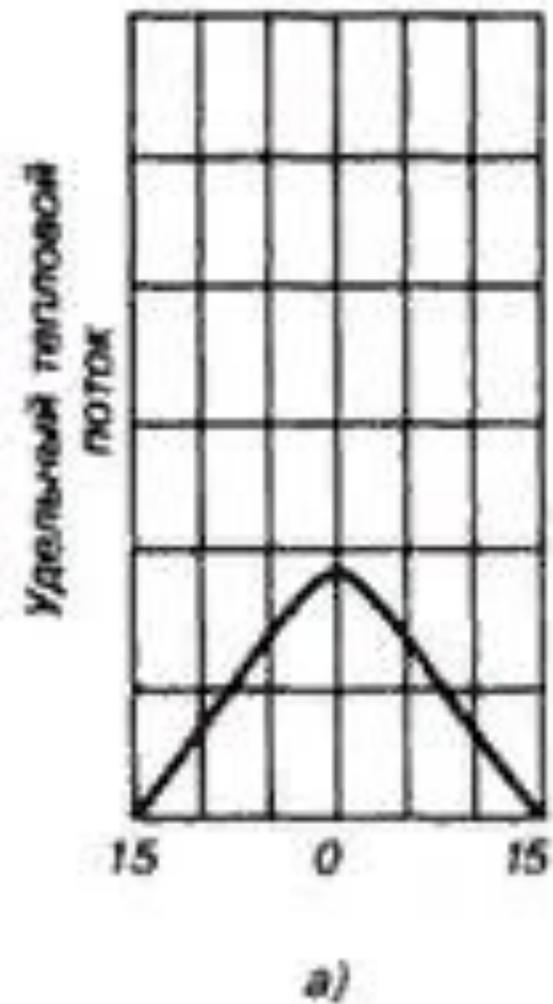


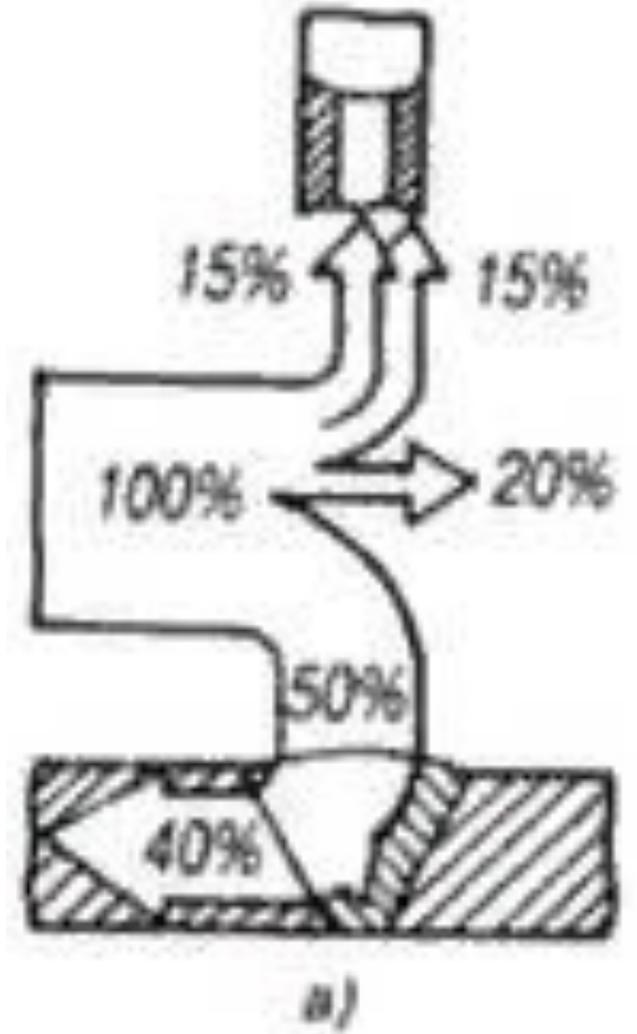
Сварочная дуга как источник нагрева

• Сварочная дуга является мощным концентрированным источником теплоты. Электрическая энергия, потребляемая дугой, в основном превращается в тепловую энергию и происходит в анодном и катодном активных пятнах и дуговом промежутке. При нагреве детали наибольшей интенсивности тепловой поток дуги достигает в центральной зоне активного пятна. По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает. Распределение теплоты вдоль дугового промежутка происходит в соответствии с падением напряжения в



- Полная тепловая мощность дуги Q (Дж/с) зависит от силы сварочного тока $I_{св}$ (А) и напряжения дуги $U_{д}$ (В): $Q = I_{св} U_{д}$.

- Однако не вся теплота дуги затрачивается на расплавление металла, т.е. на собственно сварку. Значительная часть ее расходуется на теплоотдачу в окружающую среду, расплавление электродного покрытия или флюса, разбрызгивание и т.п.

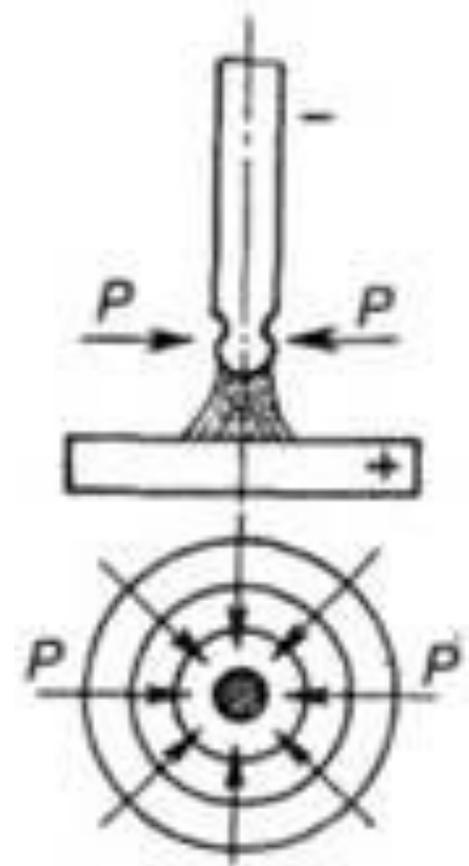


Плавление металла электрода и его перенос в дуге при сварке

- Нагрев и плавление электрода осуществляются за счет энергии, выделяемой в активном пятне, расположенном на его торце, и теплоты, выделяющейся по закону Ленца - Джоуля, при протекании сварочного тока по вылету электрода. Вылетом называют свободный участок электрода от места контакта с токопроводом до его торца. В начальный момент ручной дуговой сварки вылет электрода составляет 400 мм и изменяется по мере плавления электрода, при автоматической сварке он равен 12 - 60 мм.

• Расплавляясь в процессе сварки, жидкий металл с торца электрода переходит в сварочную ванну в виде капель разного размера. За 1 с может переноситься от 1 - 2 до 150 капель и более в зависимости от их размера. Независимо от основного положения сварки капли жидкого металла всегда перемещаются вдоль оси электрода по направлению к сварочной ванне. Это объясняется действием на каплю разных сил в дуге. В первую очередь к ним относятся гравитационная сила, электромагнитная сила, возникающая при прохождении по электроду сварочного тока, сила поверхностного натяжения, давление образующихся внутри капли газов, которые отрывают ее от электрода и дробят на более мелкие капли.

- Гравитационная сила проявляется в стремлении капли перемещаться по вертикали сверху вниз.
- Сила поверхностного натяжения обеспечивает капле сферическую форму. Электромагнитные силы играют важнейшую роль в отрыве и направленном переносе капель к сварочной ванне при сварке швов в любом пространственном положении. Электрический ток, проходя по электроду, создает вокруг него магнитное поле, оказывающее сжимающее действие. Сжатие расплавленной части электрода приводит к образованию шейки у места перехода к твердому металлу. По мере уменьшения ее сечения и возрастания плотности тока жидкий металл формируется и отделяется в виде сферической



При этом капля за счет действия электромагнитной силы приобретает направленность движения к сварочной ванне. Сила внутреннего давления газов также участвует в переносе капли. Расплавленный металл на электроде сильно перегрет. Образующиеся в нем газы способствуют отрыву его от торца электрода и могут раздробить на более мелкие капли.

При дуговой сварке плавящимся электродом различают три типа переноса электродного металла: крупнокапельный, мелкокапельный, или струйный, и перенос с образованием коротких замыканий дуги.

Характер переноса капель с электрода в сварочную ванну зависит от силы сварочного тока и напряжения дуги.

Установлено, что с увеличением силы тока размер капель уменьшается, а число их, образующихся в единицу времени, возрастает. С увеличением напряжения дуги, наоборот, размер капель увеличивается, а число их уменьшается.

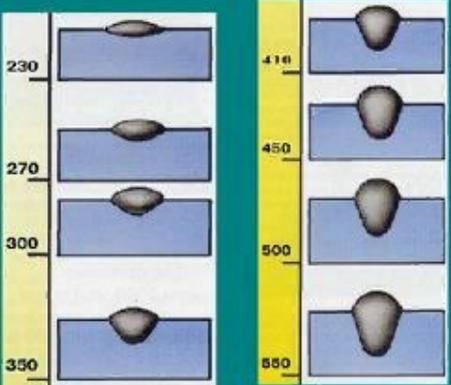
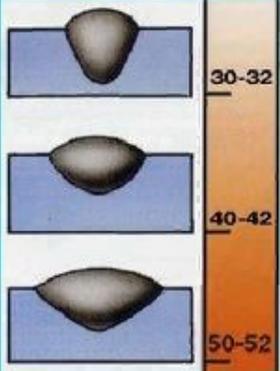
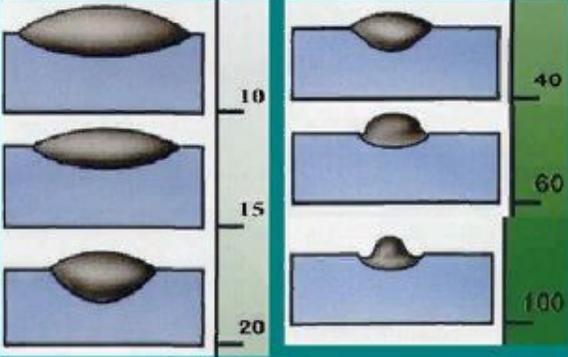
Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму и размеры сварочной ванны

- К основным параметрам дуговой сварки относятся сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение дуги $U_{д}$, скорость сварки $V_{св}$. Помимо того, условия сварки зависят от ряда дополнительных факторов: диаметра электрода, рода и полярности тока, положения электрода по отношению к ванне и др.
- Сила сварочного тока в наибольшей степени определяет тепловую мощность дуги.

• При постоянном диаметре электрода с увеличением силы тока возрастает концентрация тепловой энергии в пятне нагрева, повышается температура газовой среды столба дуги, стабилизируется положение активных пятен на электродах. С увеличением силы тока дуги возрастают длина и ширина сварочной ванны, глубина проплавления. С увеличением напряжения дуги также возрастает тепловая мощность и размеры ванны. Наиболее интенсивно увеличиваются ширина и длина ванны. При постоянной силе тока повышение напряжения дуги способствует увеличению

- Изменение скорости сварки при постоянной тепловой мощности дуги заметно сказывается на размерах сварочной ванны и шва. С повышением скорости уменьшаются глубина проплавления и ширина ванны, а длина несколько увеличивается.

Влияние сварочного тока, напряжения дуги и скорости сварки на форму и размер шва

Сварочный ток	Напряжение дуги	Скорость сварки
		
<p>С увеличением сварочного тока: <i>Глубина провара ></i> <i>Ширина шва $\approx const$</i></p>	<p>С >> напряжения: <i>Ширина шва резко >></i> <i>Глубина провара <<</i> <i>Усиление шва <<.</i></p> <p><i>При равном напряжении ширина шва при сварке на постоянном токе ОП >, чем на переменном токе</i></p>	<p>С увеличением скорости: <i>Глубина провара (до 40-50 м/час) - >>, затем <<.</i> <i>Ширина шва << постоянно.</i></p>

Напряжение дуги при ручной дуговой сварке изменяется в сравнительно узких пределах и выбирается на основании рекомендаций паспорта на данную марку электродов.

Для наиболее широко применяемых электродов $U_d = 25 \div 28$ В.

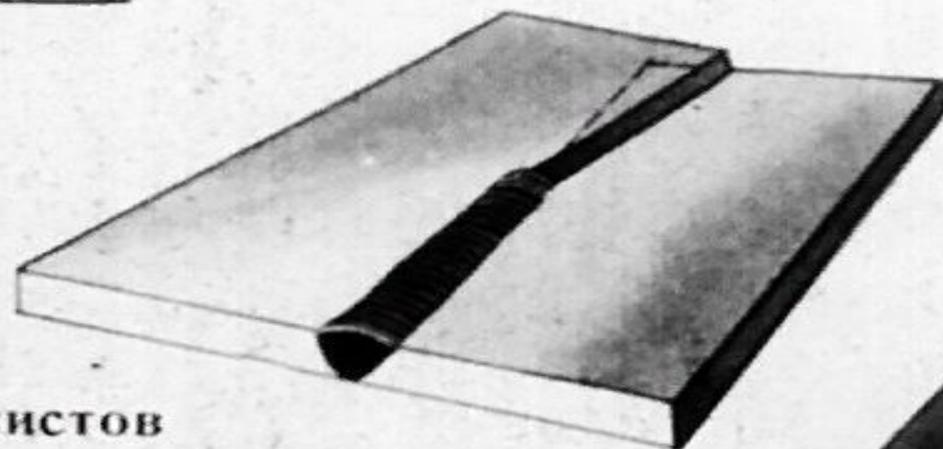
Напряжения и деформации при сварке

КОРОБЛЕНИЕ И УСАДКА МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

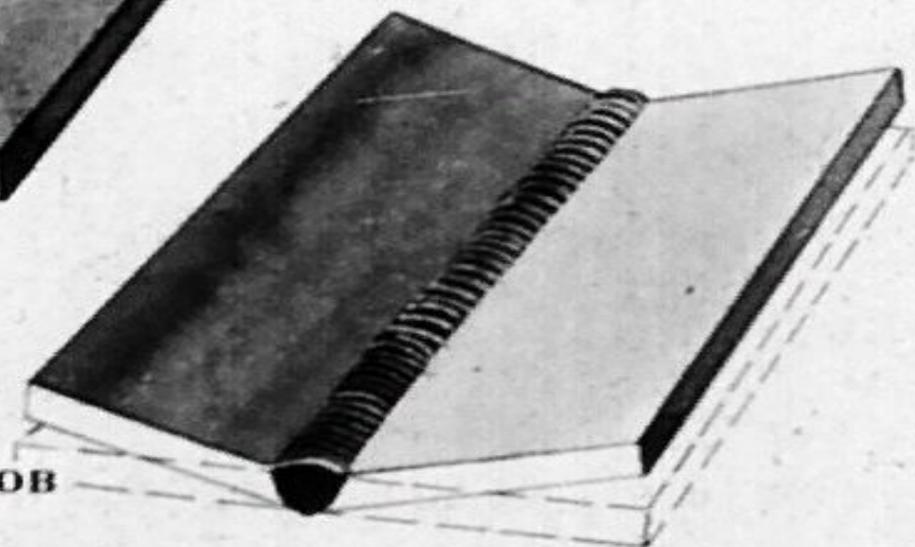


Объемное коробление
листов при нагреве

Продольное смещение листов
от усадки металла шва



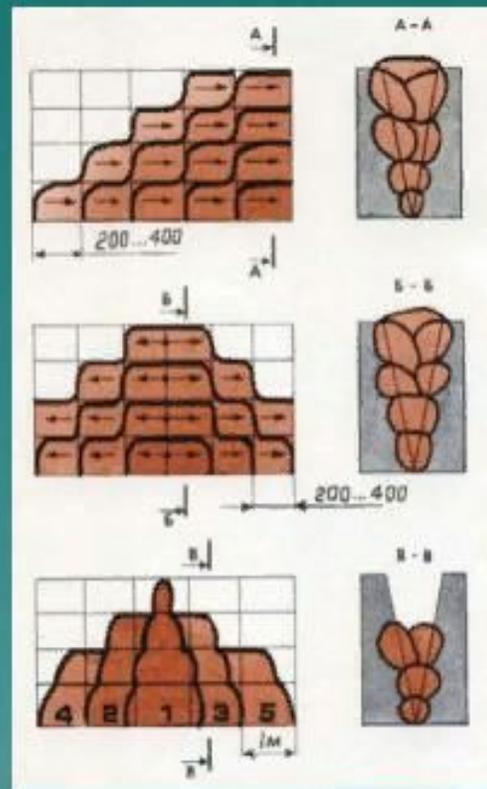
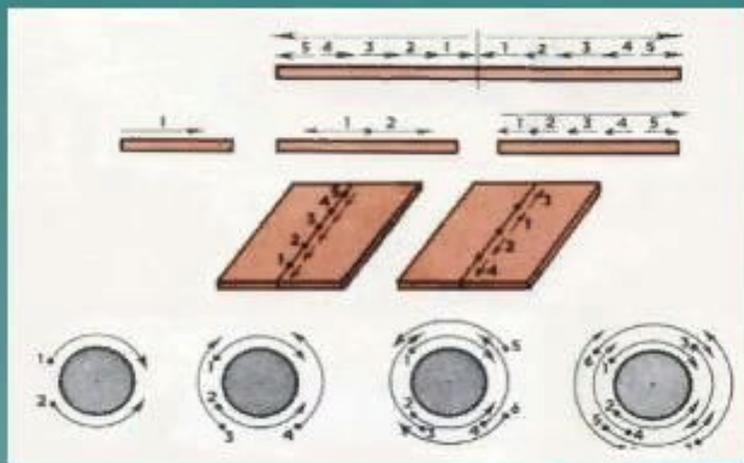
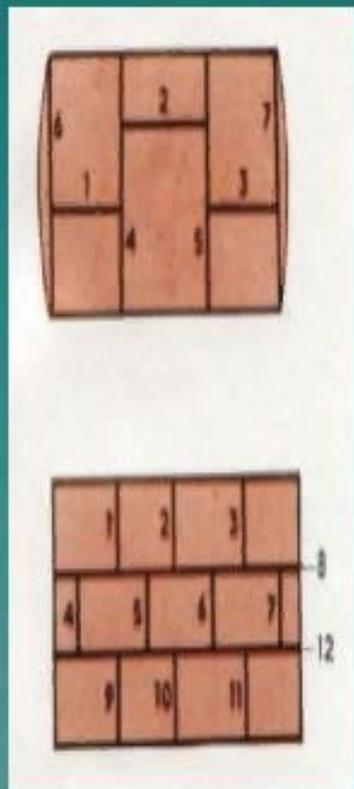
Поперечное коробление листов
от усадки металла шва



Способы уменьшения собственных деформаций и напряжений

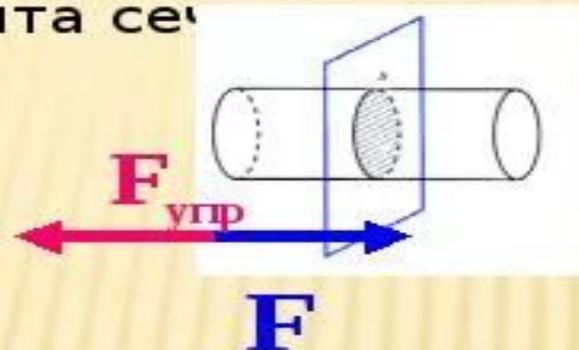
Технологические

1. Использовать секционную сборку.
2. Правильно выбирать вид, режим и последовательность сварки.
3. Применять уравнивающие и обратные деформации.
4. Жёстко закреплять детали при сварке.
5. Подогревать либо охлаждать свариваемые детали.
6. Использовать правку и отпуск.

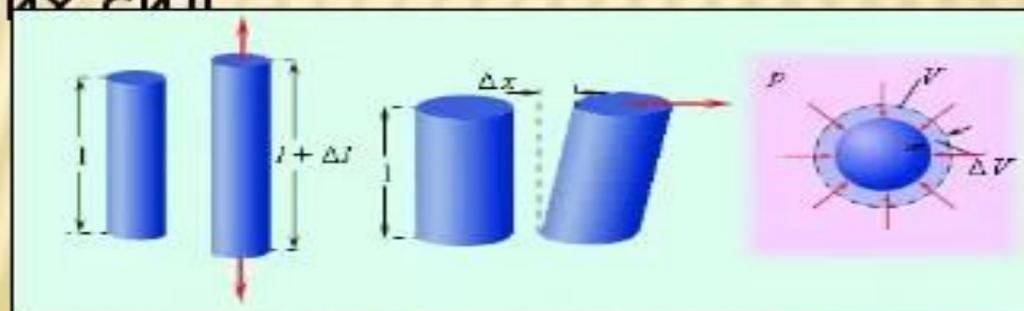


НАПРЯЖЕНИЕ И ДЕФОРМАЦИЯ

Механическое напряжение — это мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под влиянием внешних воздействий. Механическое напряжение в точке тела измеряется отношением силы, возникающей в теле при деформации, к площади малого элемента сеч



Деформация — изменение размеров и формы конструкции под действием внешних сил.



Некоторые виды деформаций твердых тел: 1 — деформация растяжения; 2 — деформация сдвига; 3 — деформация всестороннего сжатия

КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

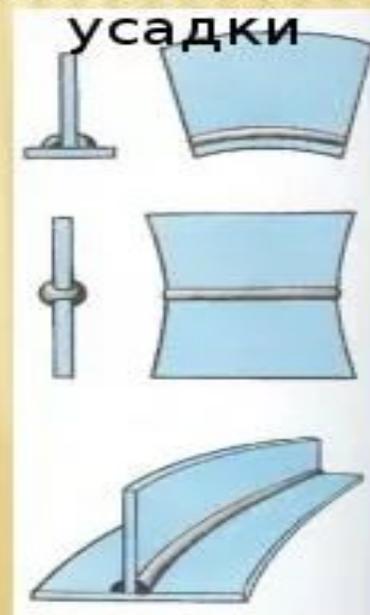
Деформации могут быть продольными и поперечными, деформациями изгиба, скручивания и потери устойчивости.

В результате продольных и поперечных деформаций происходит сокращение элементов по длине и ширине. Эти деформации образуются при симметричной укладке сварных швов.

Деформации от поперечной усадки



Деформации от продольной усадки



ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

- **неравномерность нагрева металла при сварке**
- **литейная усадка металла**
- **структурные превращения в металле шва при остывании**

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

Деформации в сварных конструкциях являются результатом наличия внутренних напряжений, которые могут вызываться различными причинами.

К *неизбежным причинам*, способствующим возникновению напряжений и деформаций, относятся такие, без которых процесс обработки происходить не может. К этим причинам при сварке относят неравномерный нагрев, кристаллизационную усадку швов, структурные изменения металла шва и околошовной зоны и т. д.

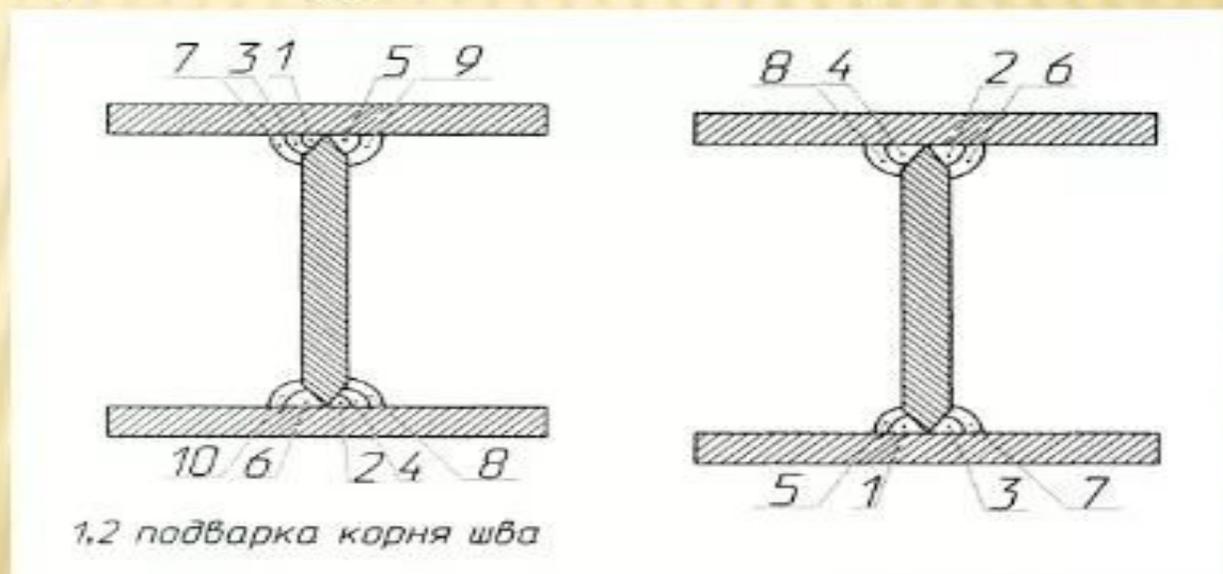
К *сопутствующим причинам*, способствующим возникновению напряжений и деформаций, относятся такие, без которых процесс сварки может происходить. К таким причинам при сварке относят:

- неправильные решения конструкции сварных узлов (близкое расположение швов, их частое пересечение, неправильно выбранный тип соединения и т. д.);
- применение устаревшей техники и технологии сварки (неверно выбраны способы наложения слоев и диаметр электрода, не соблюдаются режимы сварки и т. д.);
- низкая квалификация сварщика, нарушение геометрических размеров сварных швов и т. д.

МЕТОДЫ БОРЬБЫ СО СВАРОЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ И НАПРЯЖЕНИЯМИ

3. Уравновешивание деформаций

Сущность этого способа заключается в том, что устанавливают определенную последовательность наложения швов, при которой деформации от предыдущих швов снижаются при выполнении последующих швов. Этот способ широко применяют при сварке стержневых конструкций или деталей симметричного сечения.

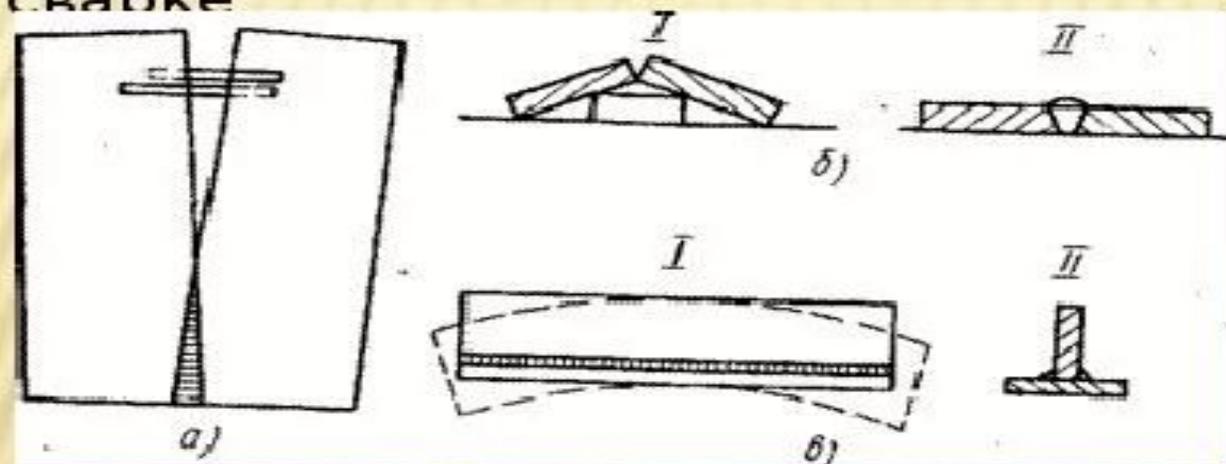


Сварка балки с $t > 8$ мм Сварка балки с $t < 8$ мм.

МЕТОДЫ БОРЬБЫ СО СВАРОЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ И НАПРЯЖЕНИЯМИ

4. Обратные деформации

Перед сваркой конструкции или элемента для уменьшения остаточной деформации искусственно создают деформацию, обратную по знаку по отношению к той, которая может возникнуть при сварке

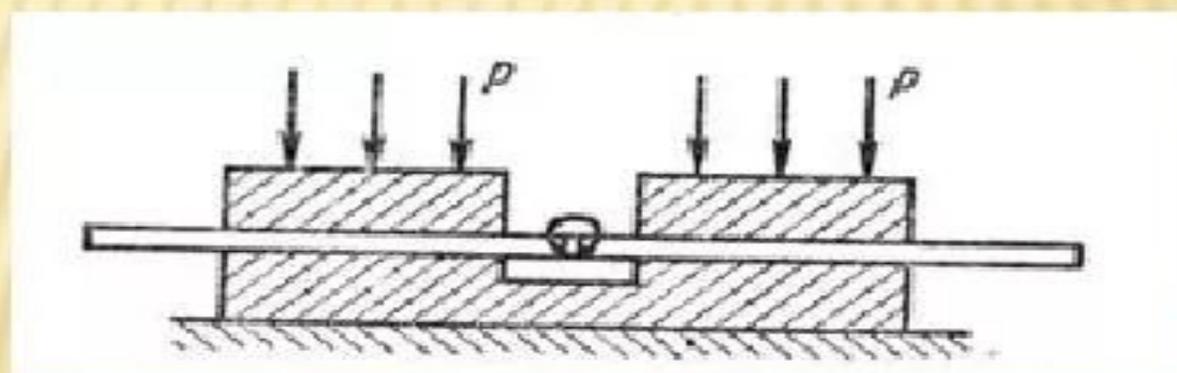


а) клиновидный зазор 10-20 мм на 1 м шва
б), в) предварительный выгиб

МЕТОДЫ БОРЬБЫ СО СВАРОЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ И НАПРЯЖЕНИЯМИ

5. Жесткое закрепление

Закрепление обеспечивает уменьшение сварочных деформаций по сравнению со сваркой в незакрепленном состоянии, если зона нагрева до температур выше 600°C не превышает 0,15 общей ширины свариваемого элемента. Если зона нагрева будет более 0,15 ширины листа, то жесткое закрепление не уменьшает деформаций, а наоборот, может увеличить их по сравнению со сваркой в свободном состоянии



Проверка качества сборки



- при сборке учитывают возможность деформации при нагреве изделия и усадке металла шва.

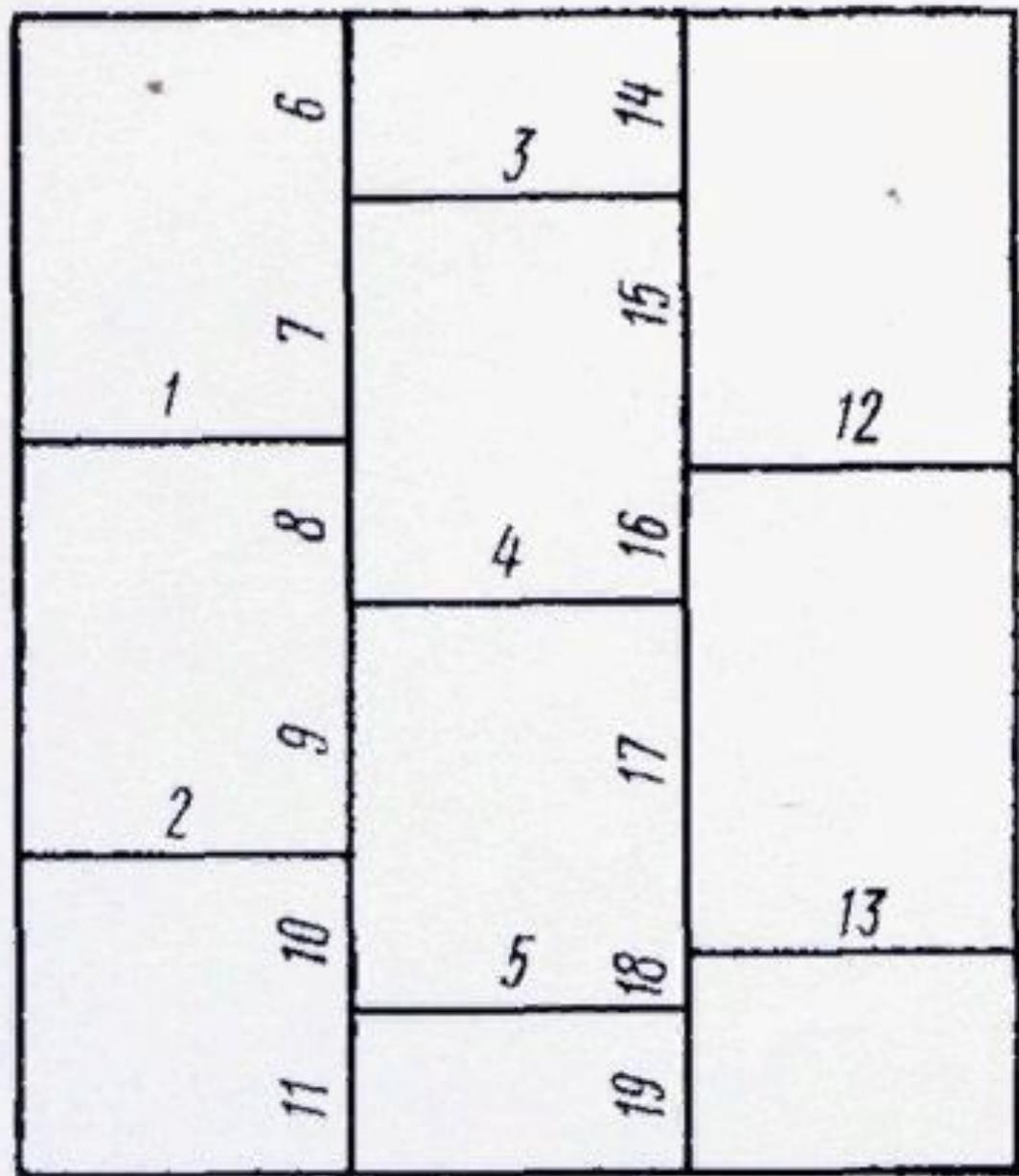


Рис. 54

Усадка металла

УСАДКА –

уменьшение объема материала в процессе его охлаждения

Различают объемную, полную и линейную усадку.

- Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении от температуры заливки до комнатной температуры.
- Полная объемная усадка складывается из:
 - ✓ Усадки металла в жидком состоянии;
 - ✓ Усадки металла при затвердевании;
 - ✓ Усадки металла в твердом состоянии.

$$\epsilon_V = \epsilon_{V_{ж}} + \epsilon_{V_{зат}} + \epsilon_{V_{ТВ}}$$

- Линейная усадка – это уменьшение линейных размеров отливки при охлаждении от температуры, при которой на ее поверхности образуется прочная «корка», до комнатной температуры.