

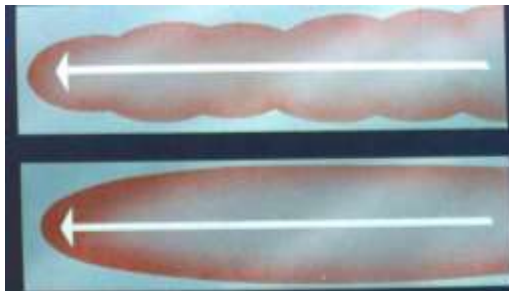
- **Deformações em soldadura:**
  - As deformações são um dos problemas que ocorrem no fabrico por soldadura de um dado componente.
  - O elevado número de parâmetros em jogo numa operação de soldadura tornam extremamente difícil a previsão e controlo das deformações.
  - Em geral pode dizer-se que existem dois métodos de garantir que uma dada construção soldada “não apresente” deformações:
    - O fabrico é projectado e executado de modo que a peça apresenta dimensões e forma dentro das tolerâncias fabrico especificadas;
    - No caso de aparecerem deformações depois do fabrico estas são convenientemente corrigidas (só para peças simples).
  - As deformações resultam da expansão e contracção, não uniforme, do metal depositado e material base adjacente durante o ciclo térmico (aquecimento e arrefecimento) provocado pela soldadura;
  - As propriedades mecânicas e físicas dos materiais variam com a temperatura, o que afecta o fluxo de calor e a sua distribuição e por consequência as deformações.

- **Causas da ocorrência das deformações:**

- Durante a operação de soldadura ocorre dilatação e contracção, não uniforme, do metal depositado e metal base:
  - O metal depositado ocupa o máximo volume no início da solidificação;
  - Ao arrefecer vai procurar contrair para o volume que normalmente ocuparia à temperatura ambiente, mas o metal base adjacente impede-o;
  - O que origina tensões residuais, as quais podem provocar deformações (movimentos), no caso da peça não estar rigidamente fixada;
  - Por sua vez, a contracção do material adjacente à soldadura e os gradientes de temperatura contribuem para o aumento das tensões residuais.

- **Principais causas da ocorrência das deformações:**

1. **Energia térmica específica do processo** – as deformações provocadas dependem da energia do processo, tipo de fonte de calor e modo como se faz a sua aplicação;



2. **Grau de rigidez da peça** – se as peças, a soldar, não forem fixadas as tensões residuais provocarão deformações (ou movimentos das peças). Mas quando o grau de fixação aumenta, aumentam também as deformações a acomodar e teremos elevadas tensões residuais;

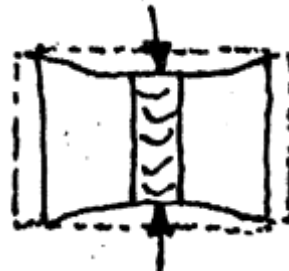
3. Tensões residuais presentes no metal base – num componente que vai ser soldado, pode afirmar-se que existem já tensões residuais provocadas por operações de laminagem, conformação, corte e outras operações, que eventualmente poderão somar-se com as tensões residuais da soldadura.
4. Propriedades do metal base – coeficiente de expansão térmica (dilatação linear), condutividade térmica, tensão de fluência, modulo de elasticidade, tensão de cedência, etc.

- Tipos de deformação:

- Contracção transversal



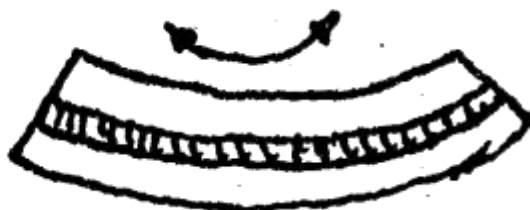
- Contracção longitudinal



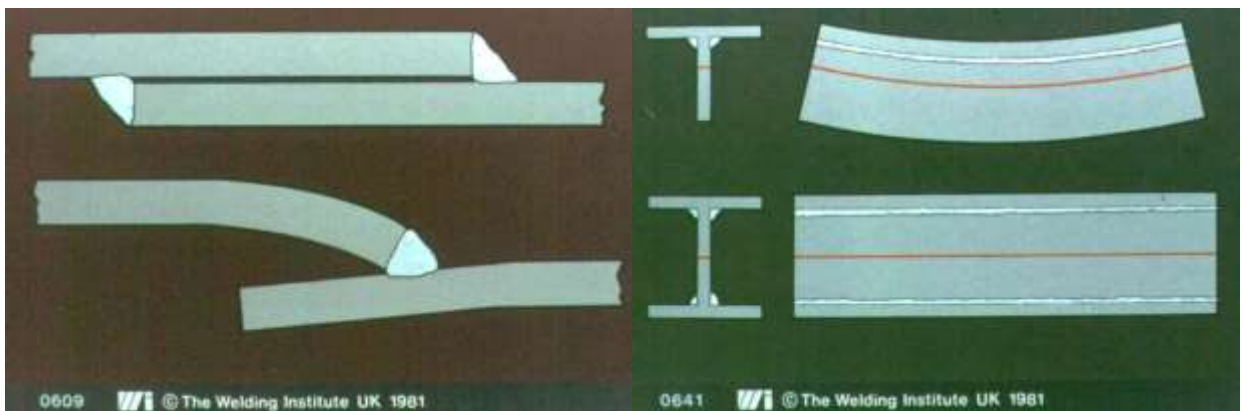
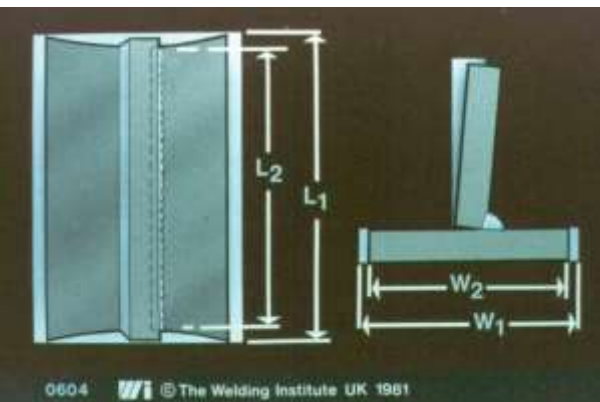
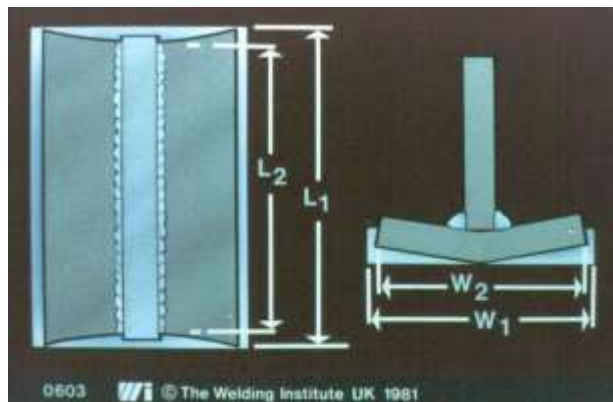
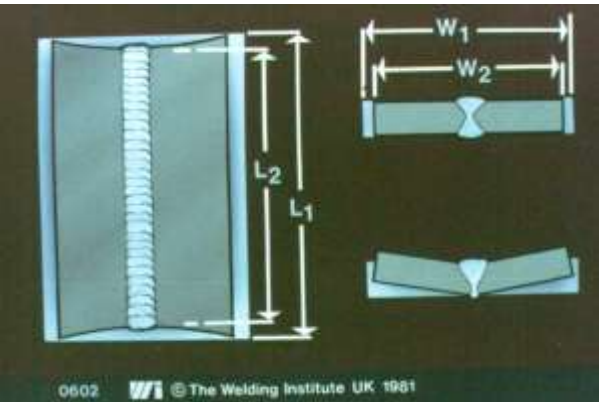
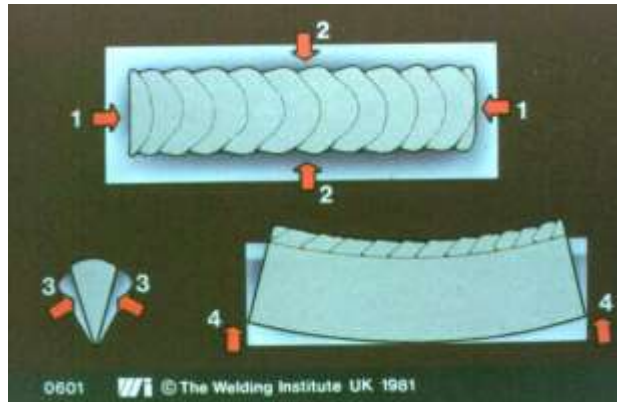
- Distorção angular



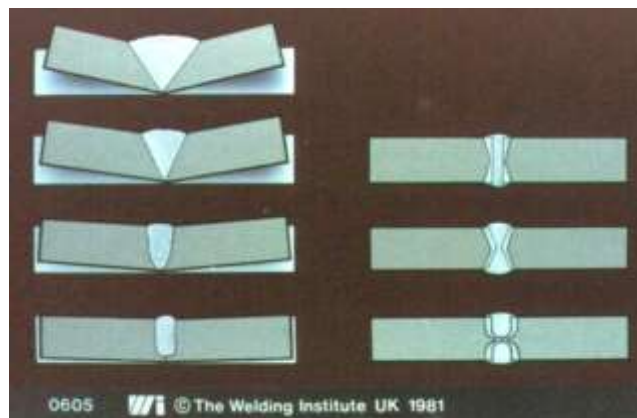
- Encurvadura (camber)



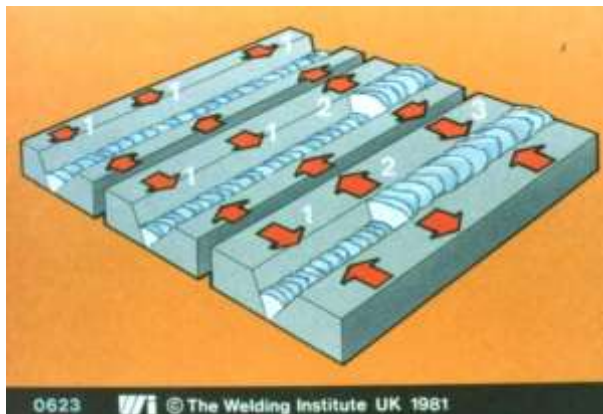
- Exemplos:



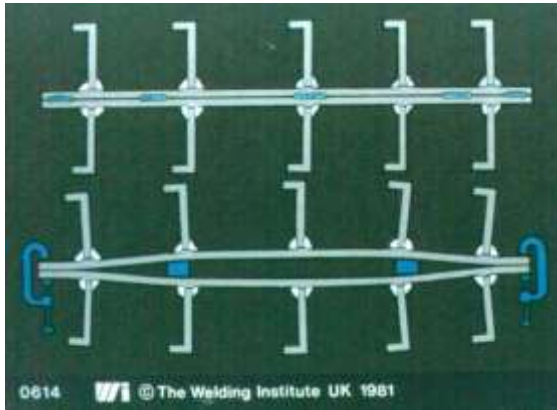
- **Controle de deformações:**
  - Afim de evitar ou minimizar a ocorrência de deformações devem adoptar-se métodos, a nível de projecto e/ou na oficina, de modo a contrabalançar os efeitos do ciclo térmico da soldadura.
- **Apresentam-se algumas indicações, gerais, que poderão ajudar a resolver o problema:**
  - Evitar o excesso de soldadura – quanto maior for a quantidade de metal depositado maiores serão as tensões residuais criadas;



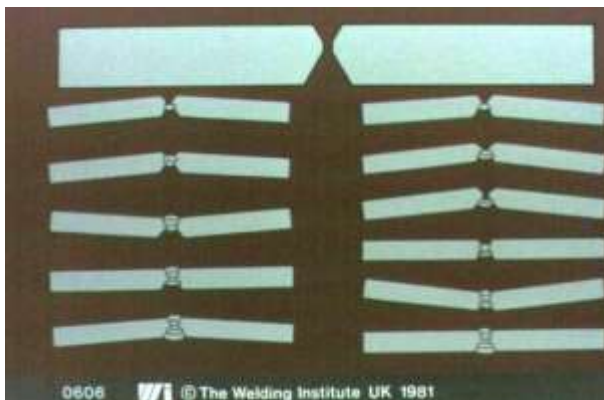
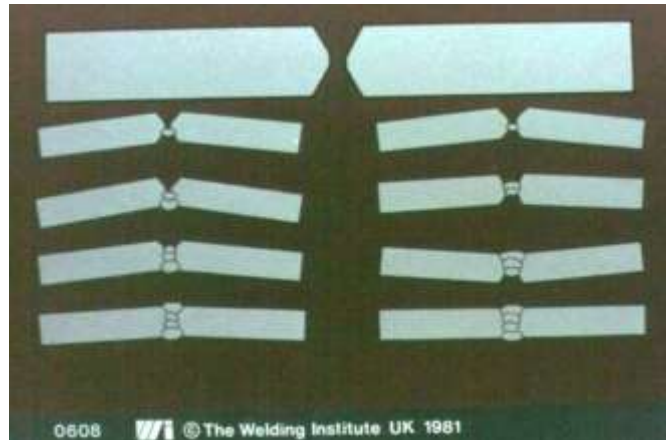
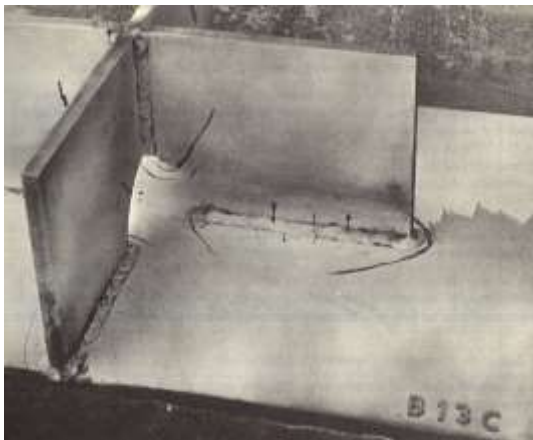
- Usar soldadura intermitente, quando possível;
- Usar o menor número possível de passes (simple abertura);



- Colocar as soldaduras próximo da linha neutra, distribuí-las em relação plano(s) neutro(s) da estrutura;

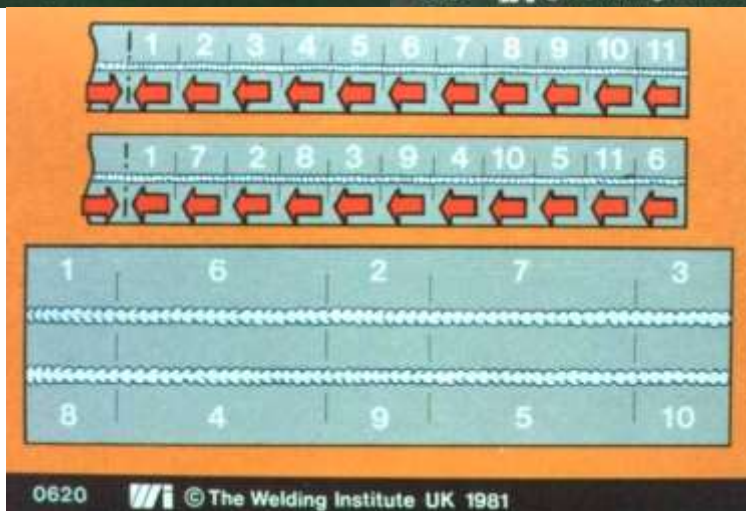
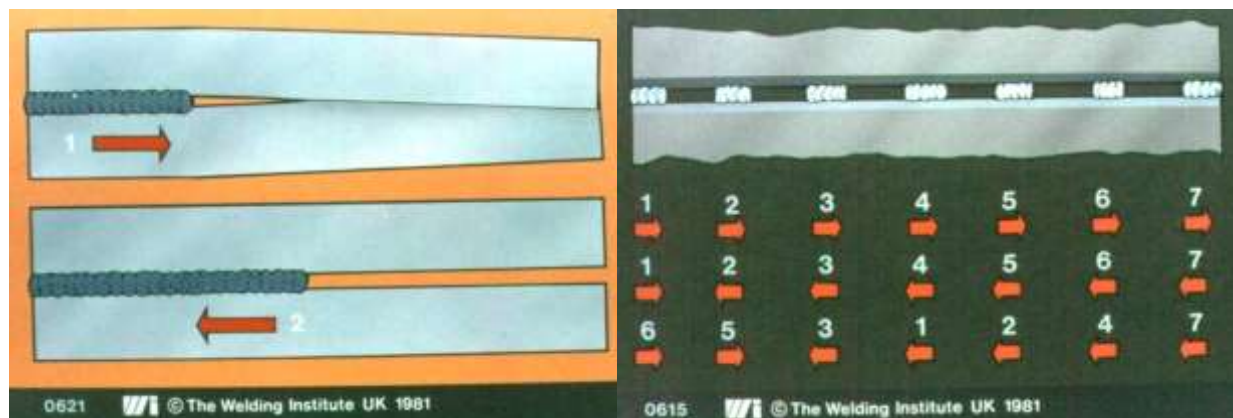


- Evitar cruzamento de soldaduras sobrepostas
- Balancear a soldadura em torno da linha neutra da junta;

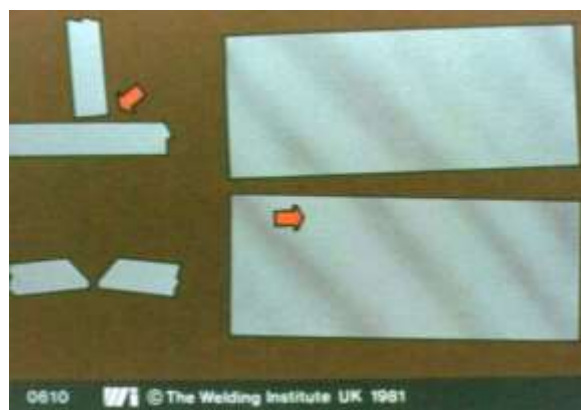


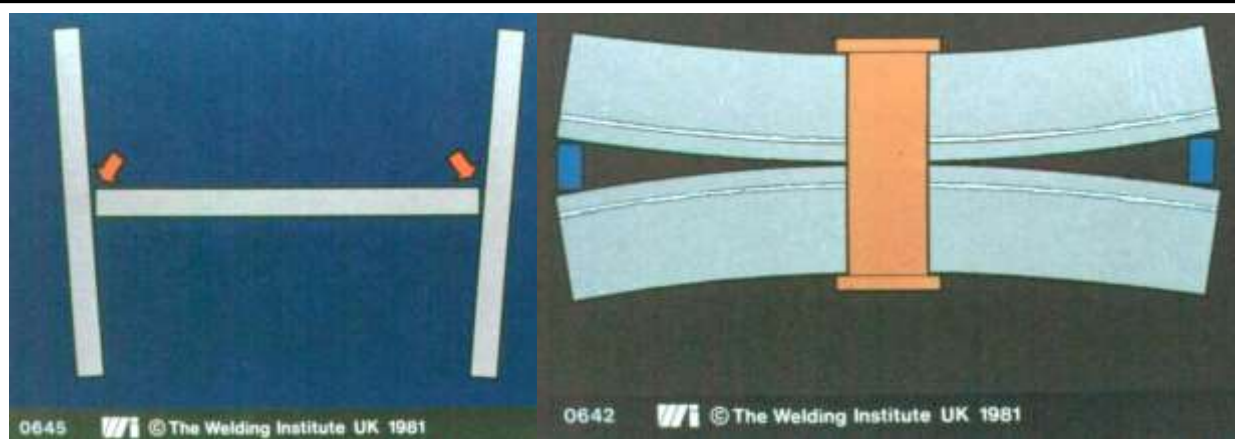


- Usar a técnica do passe à retaguarda;

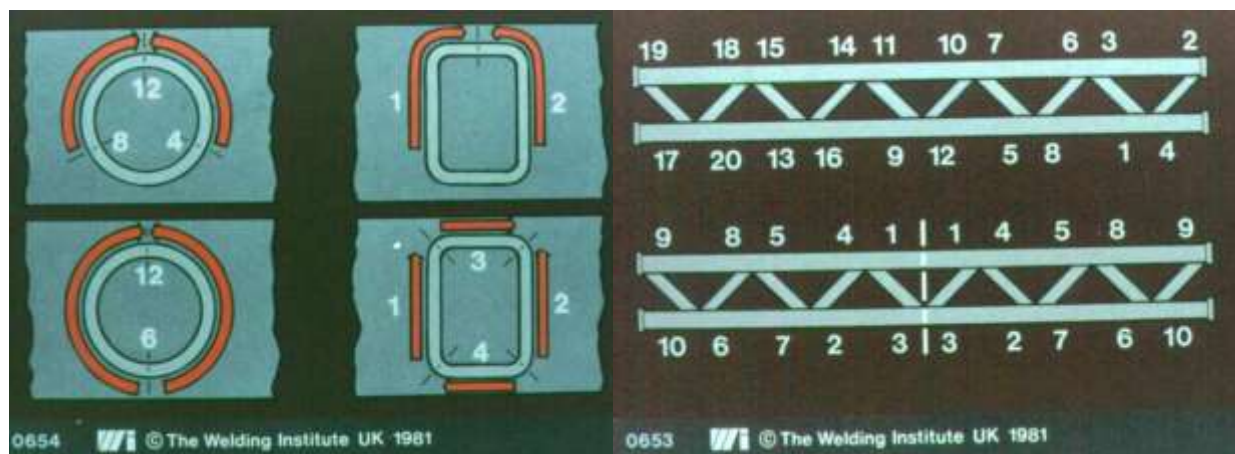
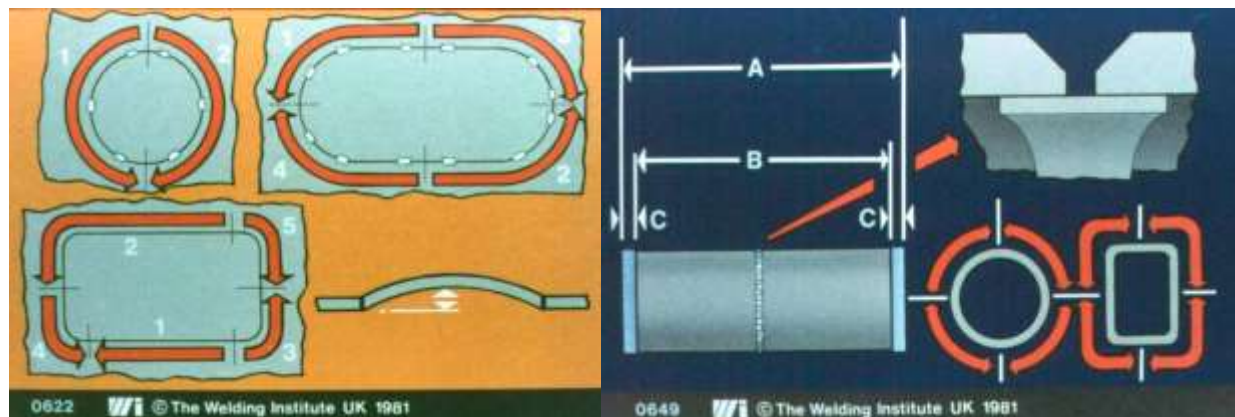


- Previsão ou antecipação das tensões de contracção – exemplo: pré-dobragem, soldar fora da posição;



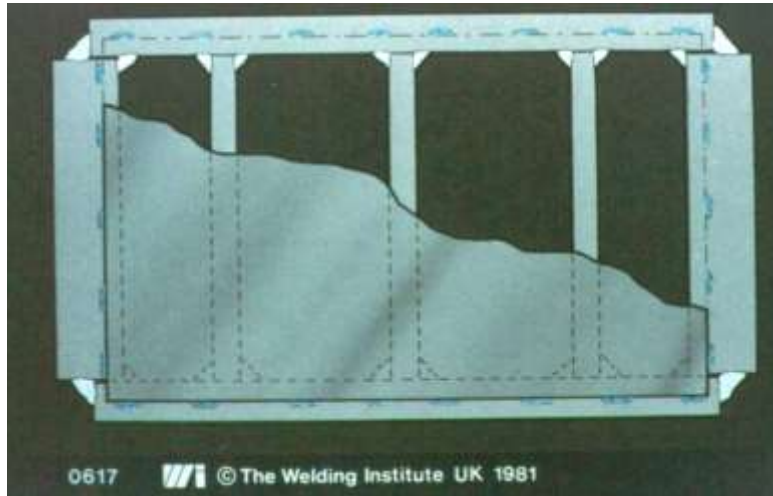


- **Planeamento da sequência de soldadura;**

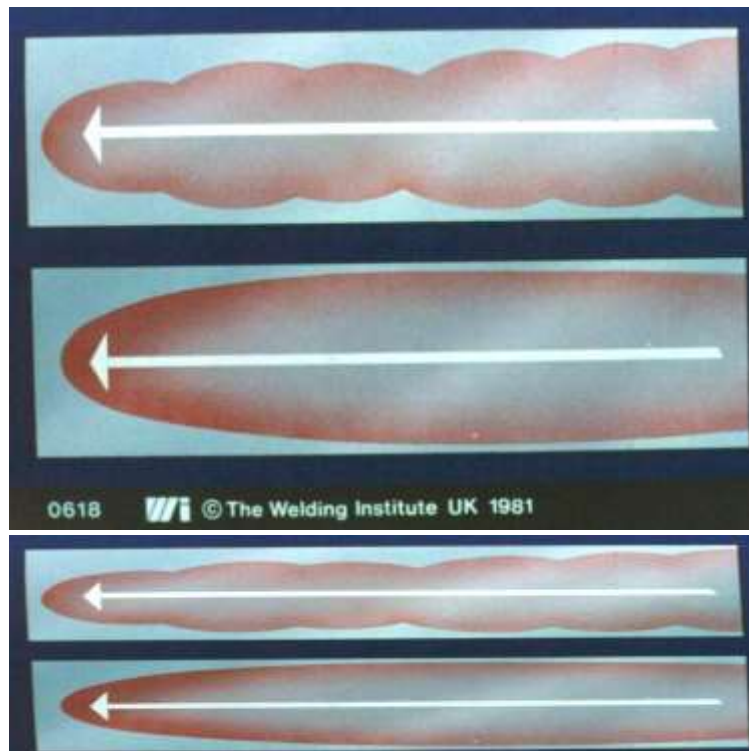




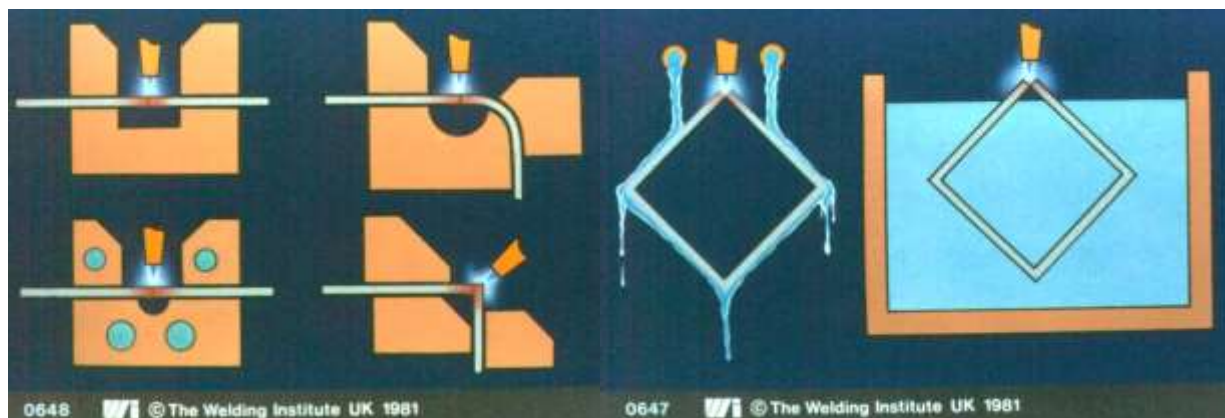
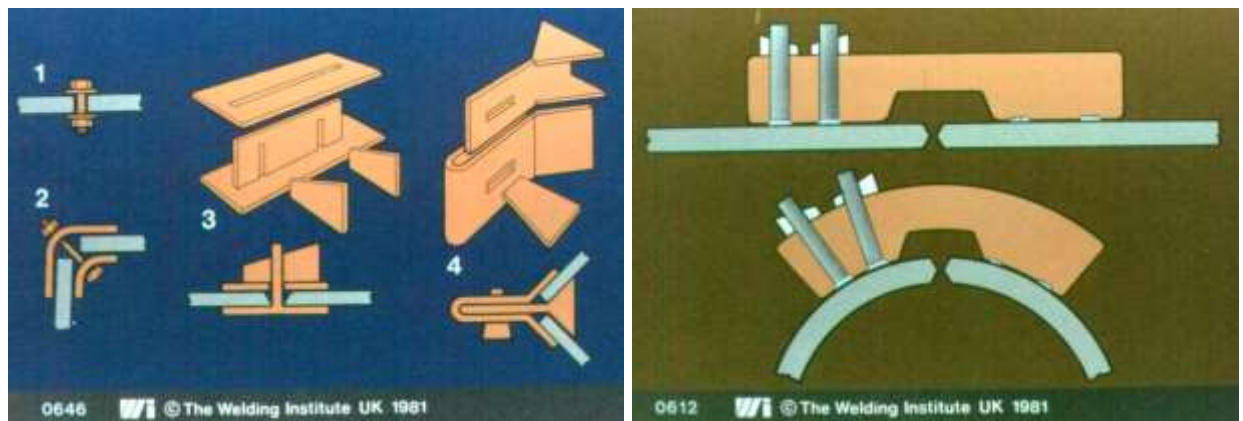
- **Remoção (minimização) das tensões residuais após soldadura – exemplo: martelagem, tratamento térmico de distensão;**



- **Reduzir ao mínimo os tempos de soldadura – exemplo: utilizar velocidade de soldadura o mais elevada possível;**



- Métodos de fixação das peças a soldar – grampos, gabaris, pingos ou cordões de montagem, etc; - o grau de rigidez imposto às peças a soldar irá influenciar a deformação obtida, mas por outro lado, as tensões residuais serão elevadas, uma vez que os movimentos das partes a soldar serão totalmente restringidos (uma elevada rigidez pode originar fissuração).



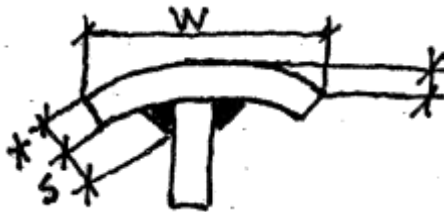
- **Tolerâncias de montagem (sobre espessuras):**
  - Quando se faz a montagem das diversas partes, da construção soldada, devem deixar-se excessos de material para compensar as contracções (transversal e longitudinal) durante a soldadura.
  - A estimativa das tolerâncias para a contracção é difícil de fazer-se, em geral a experiência de fabricações anteriores é o melhor guia
- **Apresentam-se, a seguir, valores indicativos para o aço:**
  - **Contracção transversal:**
    - Canto: 0,8 mm por soldadura, cateto  $\leq \frac{3}{4}$  da espessura;
    - Topo a topo: 1,5 a 3 mm por soldadura (V a 60°), dependendo do número de passes.
  - **Contracção longitudinal:**
    - canto: 0,8 mm por 3 metros de soldadura;
    - Topo a topo: 3 mm por 3 metros de soldadura.

- **Cálculo analítico das contracções :**

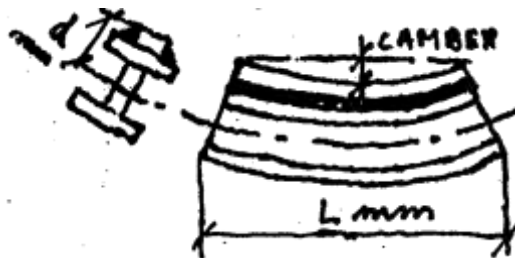
- **Valores aproximados de contracção:**

$$\text{Contracção transversal} = 0,004 \times \frac{A}{t}, [\text{mm}]$$

- A – área da secção do cordão [mm<sup>2</sup>]
- t – espessura [mm]



$$\text{Distorção angular} = 0,0076 \times \frac{W \times S^{1,3}}{t^2}, [\text{mm}]$$

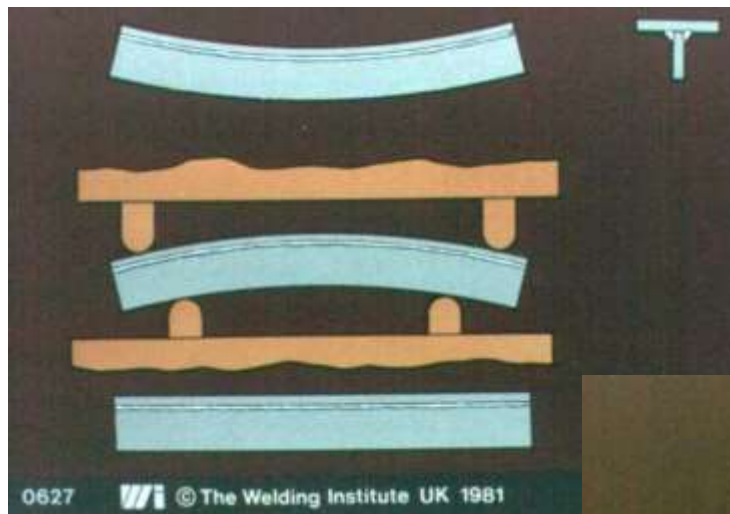


$$\text{Camber} = 2081 \times \frac{A \times d \times L^2}{I}, [\text{mm}]$$

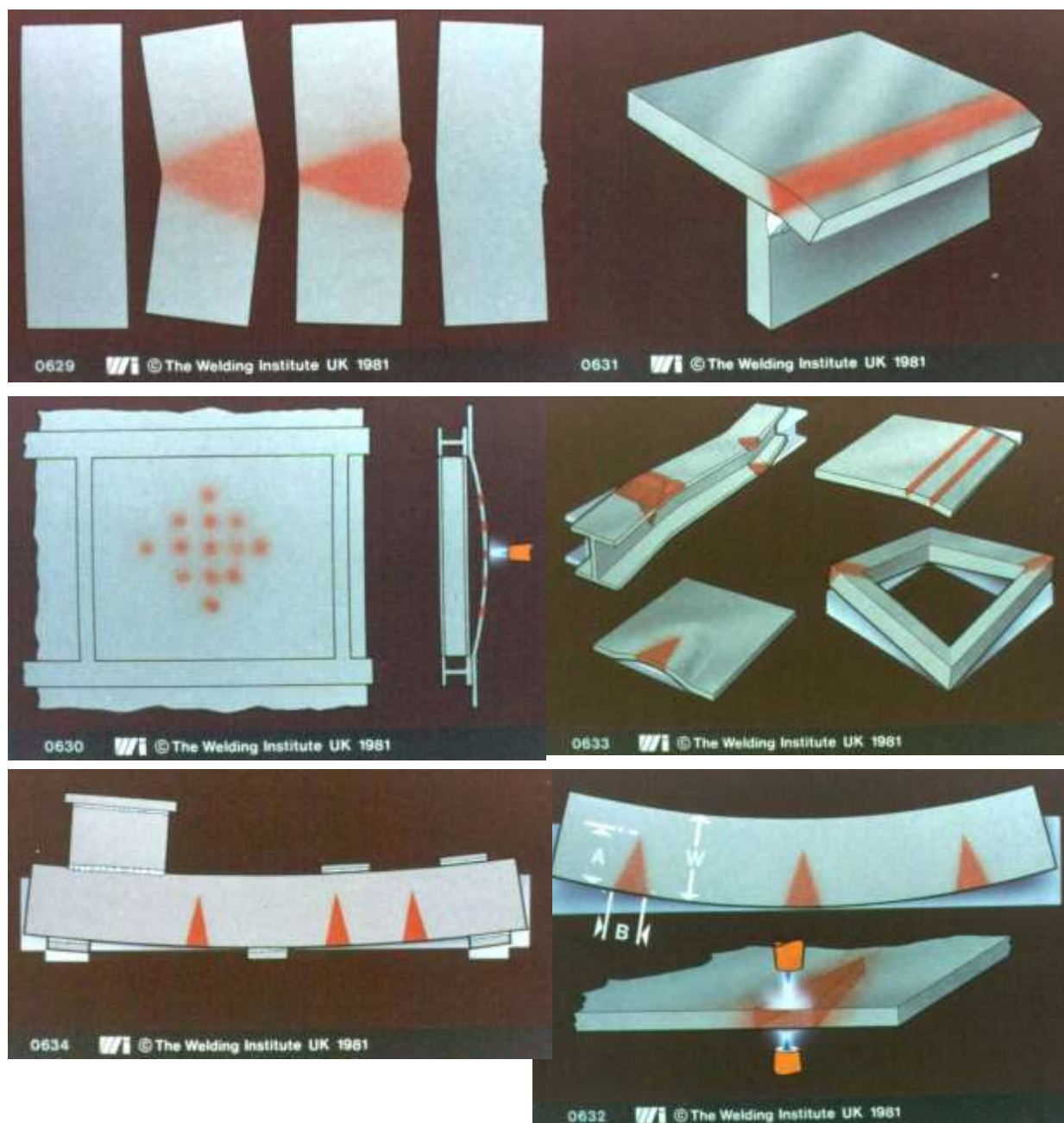
- A – área da secção do cordão [mm<sup>2</sup>]
- I – momento de inércia do membro [mm<sup>4</sup>]

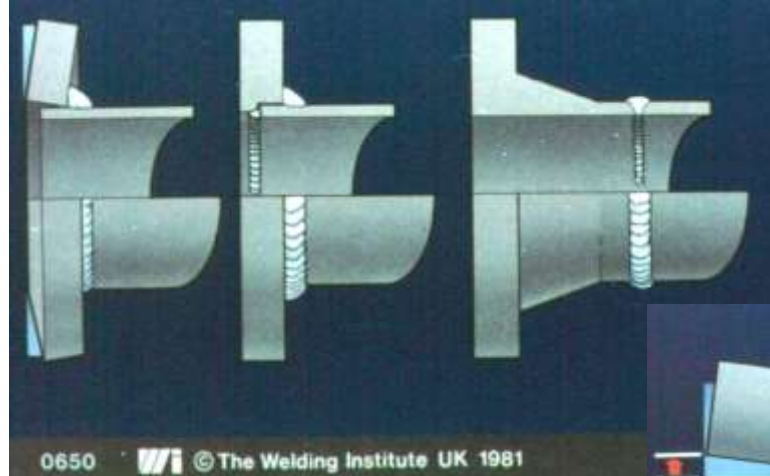
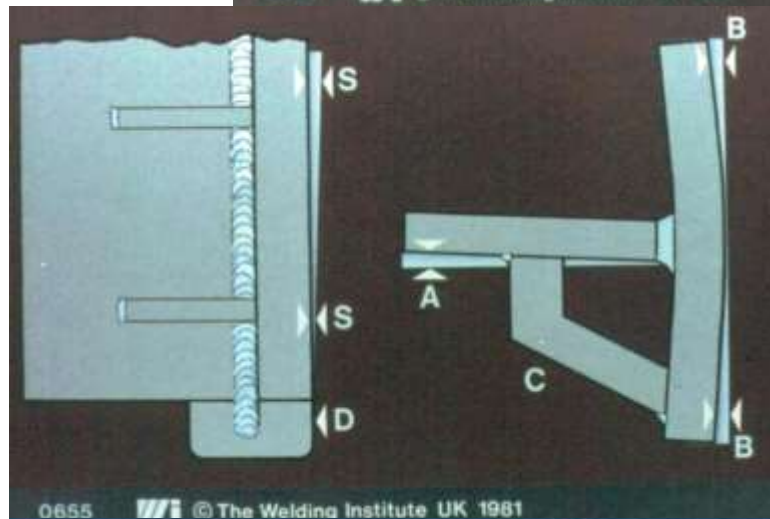
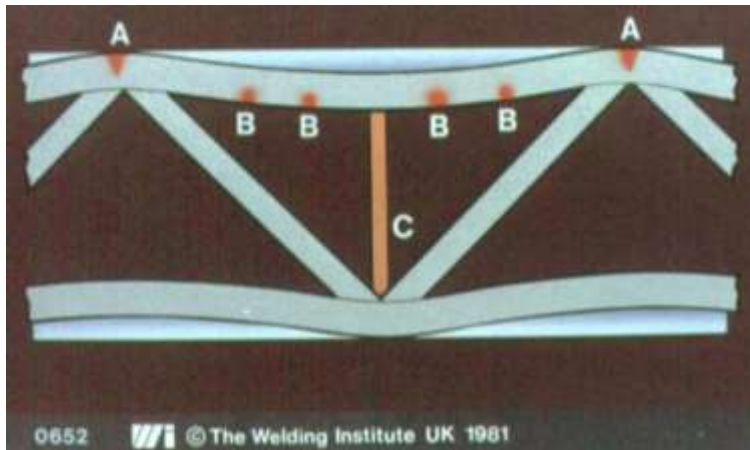


- Correcção das deformações após soldadura:
  - Nalguns casos é mais económico ou prático corrigir uma deformação após a soldadura, do que evitar o seu aparecimento durante a operação de soldadura (por vezes impossível).
  - Algumas técnicas de correcção:
    - Meios mecânicos:
      - Prensas;
      - Martelagem, etc.

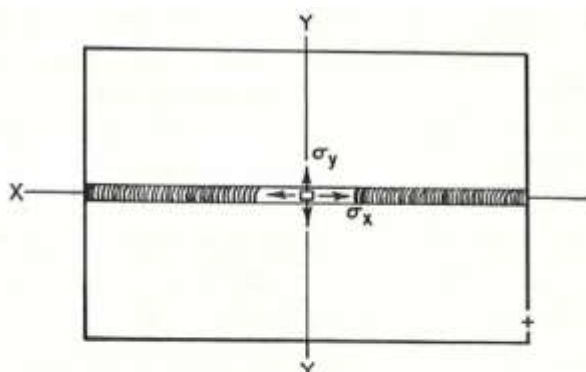


- Meios térmicos:
  - Painéis planos: fixá-los a uma base rígida e fazer-lhes um tratamento térmico de distensão de tensões;
  - Uso de calor concentrado.

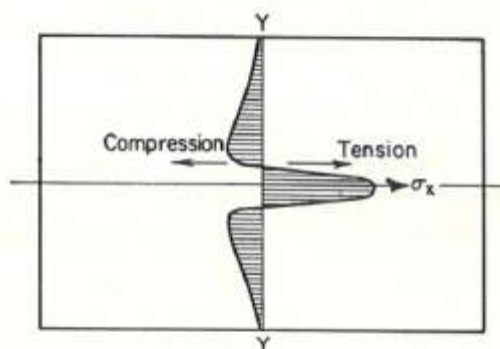




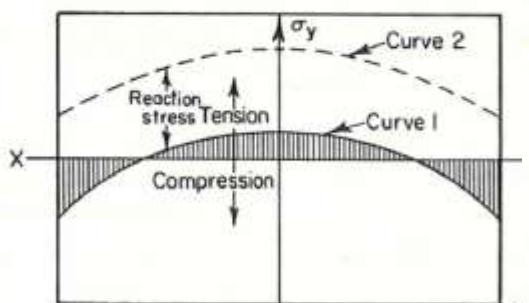
## Exemplos típicos de tensões residuais:



a. Butt Weld

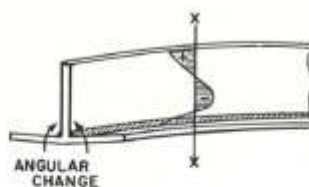


b. Distribution of  $\sigma_x$  Along YY



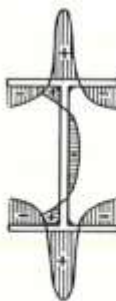
c. Distribution of  $\sigma_y$  Along XX

A-51601

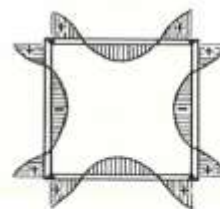


STRESS DISTRIBUTION IN SECTION X-X

d. RESIDUAL STRESSES AND DISTORTION OF A WELDED T-SHAPE



b. RESIDUAL STRESSES IN AN H-SHAPE



c. RESIDUAL STRESSES IN A BOX SHAPE