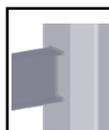


Ligações Soldadas – Parte I



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PGECIV - Mestrado Acadêmico
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ
Disciplina: Ligações em Estruturas de Aço e Mistas
Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima



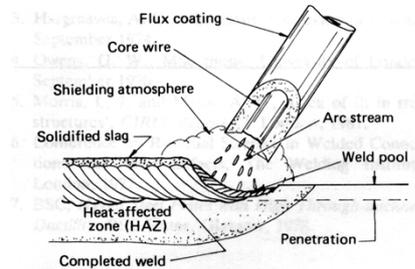
1. Introdução

- A solda é um processo de ligação obtido através da **fusão** de camadas do **material das partes a serem ligadas**;
- Eletrodo ← Solda → Metal Base
Arco voltaico → energia térmica (calor)
- Energia térmica → derrete o metal base e a solda
- Move-se o eletrodo → desloca-se o arco → solidificação (depósito de eletrodo – g/min)
- Proteção do material liquefeito → prevenir oxidação
 - ✓ Gases inertes, material protetor (fluxo) → oxidação, camada superficial controla o formato da solda

2. Tipos Principais de Soldas

- Solda por arco voltaico (MMA – “manual metal arc”)

- ✓ Processo mais comum de soldagem em estruturas de aço é a solda por arco voltaico
- ✓ calor necessário para a fusão do material → formação de um arco voltaico entre um eletrodo e as partes a serem unidas, denominadas de metal base.
- ✓ eletrodo manual (ϕ 2,5 a 6 mm)
- ✓ maior flexibilidade → solda em qualquer posição



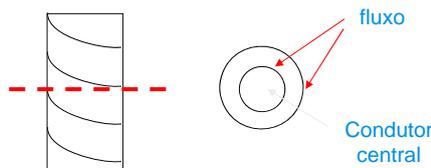
Solda por arco voltaico

- ✓ exige pouca preparação
- ✓ qualidade da solda → habilidade do soldador
- ✓ voltagem → 50 a 90 V (25 a 30 V em serviço) e Corrente → 50 a 400 amps

2. Tipos Principais de Soldas

- Solda automática com eletrodo contínuo revestido

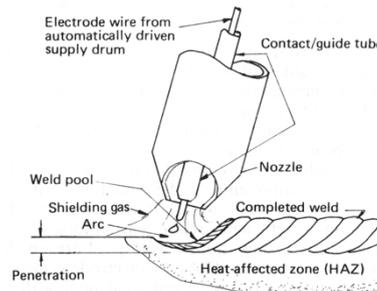
- ✓ similar ao anterior
- ✓ linhas de soldagem → eletrodo contínuo (carretel)
- ✓ para impedir a quebra de fluxo (proteção), o eletrodo é revestido por um fio condutor em forma de espiral (“spin”)



2. Tipos Principais de Soldas

■ Solda com proteção gasosa

- ✓ MAG → “metal active gas”
- ✓ MIG → “metal inert gas” (argônio ou hélio – metais não ferrosos)
- ✓ proteção através de gas
- ✓ controle automático do consumo de eletrodo, gás e corrente elétrica
- ✓ ϕ do eletrodo → 0,75 a 2 mm
- ✓ voltagem → 20 a 30 V
- ✓ corrente → 50 a 200 amps.
- ✓ elevada taxa de deposição – maior do que 150g/min

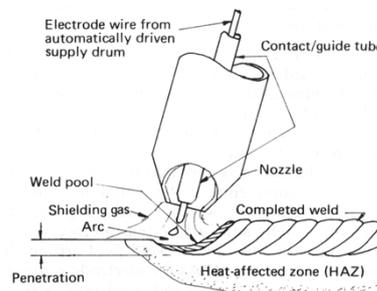


Solda com proteção gasosa

2. Tipos Principais de Soldas

■ Solda com proteção gasosa

- ✓ Qualquer posição para soldagem
- ✓ Baixa corrente → dip transfer
- ✓ Alta corrente → spray transfer
- ✓ Flux coated wire
 - Ligas antioxidantes estabilizadoras de arco

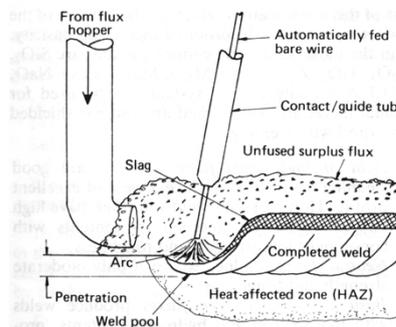


Solda com proteção gasosa

2. Tipos Principais de Soldas

■ Solda com arco submerso

- ✓ utilizado em processos automáticos de soldas efetuadas em fábrica
- ✓ neste processo, a barra do eletrodo é um fio embebido em um material granular fusível que isola o material fundido da atmosfera.
- ✓ corrente elevada
- ✓ Taxa de deposição elevada (300g/min) → 2 ou 3 eletrodos ao mesmo tempo



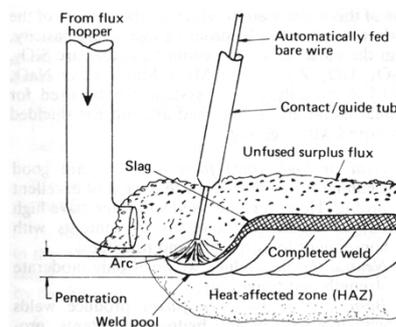
Solda com arco submerso

- ✓ ϕ do eletrodo → 2 a 5 mm
- ✓ Voltagem → 30 a 40 V
- ✓ Corrente → 1200 amps.
- ✓ Alta qualidade

2. Tipos Principais de Soldas

■ Solda com arco submerso

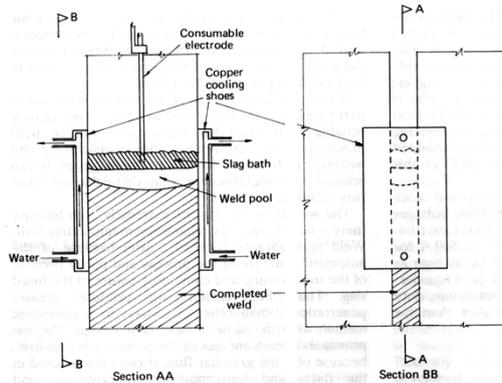
- ✓ Corrente alta → Maior profundidade de penetração nos metais base/solda
- ✓ Desvantagens
 - Somente posições horizontal/vertical plana → natureza granular do fluxo
 - Alta deposição
 - Gera metais de solda com baixa resistência → alta granulação → resfriamento muito lento → correção → tratamento térmico



Solda com arco submerso

2. Tipos Principais de Soldas

▪ Solda “Eletroslag”



- ✓ também utilizada em processos automáticos para ligação de chapas grossas
- ✓ processo de arco
- ✓ devido elevada temperatura, o resfriamento é muito lento
- ✓ Tratamento térmico

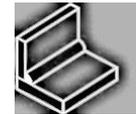
3. Tipos de Proteção (“flux”)

▪ Seção 2.3 – Owens

- ✓ deve ser utilizado nos processos de solda por arco voltaico, com eletrodo contínuo revestido, arco submerso e “electroslag”
- ✓ a composição do material depende do processo de solda
 - formadores de gás
 - formadores de escória (“slag”)
 - iniciadores e estabilizadores de arco → metálicos (níquel e ferro)
 - agentes de fluxo → diminuem as impurezas na solda e são constituídos basicamente de óxidos ou carbonatos
 - etc.

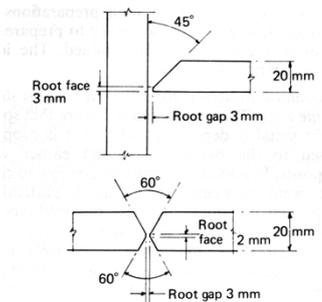
4. Preparação das Superfícies

- Filete
 - ✓ não necessitam de preparação
- Entalhe – preparação ideal
 - ✓ acesso total ao longo da profundidade da solda
 - ✓ minimiza o volume de material depositado
 - ✓ minimiza os custos de preparação
 - ✓ não leva a inclusões ou descontinuidades
 - ✓ Permite acomodações da estrutura → 1 / 2 mm enrijecedor
 - ✓ Não deve ser utilizada em estruturas “offshore”



4. Preparação das Superfícies

- Entalhe
 - ✓ **ponto crítico** → primeiro passo (preparação da raiz da solda)
 - ✓ **root gap** → razoável de forma a não permitir a penetração da solda para o outro lado
 - ✓ **root face** → suficientemente profundo para impedir vazamento e garantir que não ocorra penetração parcial



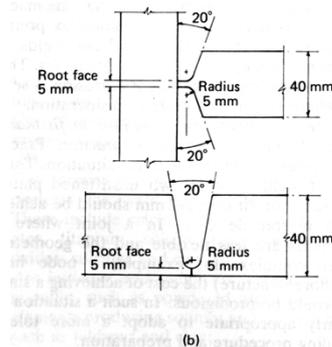
(a)

chapas finas

4. Preparação das Superfícies

Entalhe

- ✓ root gap e root face → processo de solda utilizado
- ✓ chapas mais grossas → maior tempo de preparação mas menor consumo de eletrodo → preparação em J
- ✓ chapas finas → preparação reta ou biselada
- ✓ preparação simples ou dupla
 - acesso a solda
 - rotação da estrutura
 - espessura da placa / controle de distorção



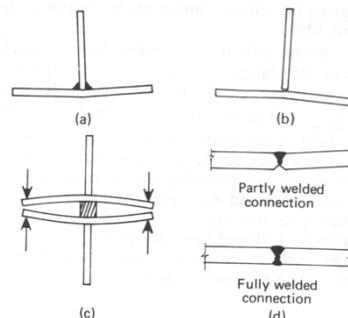
chapas grossas

5. Controle de Distorção

- ✓ solidificação → contração → distorção → σ residuais de tração acompanhadas de plastificação
- ✓ encurtamento longitudinal → flambagem local
- ✓ ligações → chapas rígidas que não flambam com facilidade

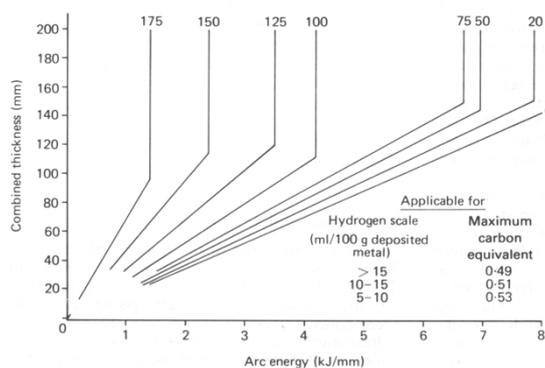
✓ encurtamento transversal

- angulares e para fora do plano (a)
- contra distorção → aquecimento local p/ indução (b)
- restrição a distorção → flexão elástica (c)
- compensação → distorção com sentidos contrários (d)



6. Pré-aquecimento

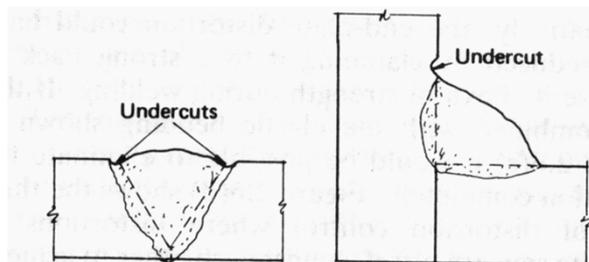
- ✓ velocidade de resfriamento → fratura na região afetada termicamente
- ✓ pré-aquecimento reduz a velocidade de resfriamento



- ✓ temperatura de pré-aquecimento
 - espessura da placa
 - energia do arco
 - composição química dos metais
- ✓ “cold cracking” → fratura frágil

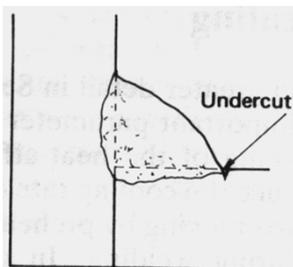
7. Principais defeitos de Solda

- “Undercut” → muito metal base é absorvido pela região da solda
 - ✓ correntes muito altas → turbulência de solda líquida
 - ✓ passos únicos muito largos → perde-se a orientação da linha média da solda



7. Principais defeitos de Solda

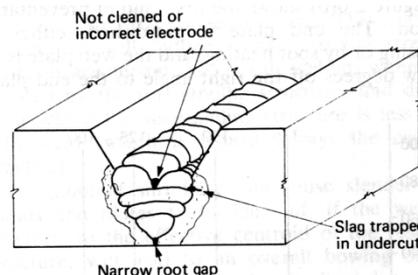
- “Undercut” → muito metal base é absorvido pela região da solda
 - ✓ falta de aquecimento do metal base
 - ✓ difíceis de detectar → profundidade menor que 0,25 mm que influenciam a resistência à fadiga



- ✓ perda de área efetiva na solda
- ✓ placa com 10 mm com defeitos “undercut” de 0,5 mm de cada lado → perda de até 10% na resistência à tração e até 19% na resistência à flexão
- ✓ Fadiga
 - Melhor desbastar (Lixadeira)
 - Pior ressoldar

7. Principais defeitos de Solda

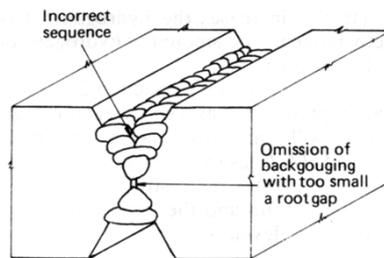
- Inclusões “Slag” → partículas não metálicas provenientes do fluxo que se misturam à solda líquida
 - ✓ também diminuem a resistência
 - ✓ muitos passos ou limpeza mal executada
 - ✓ eletrodo incorreto
 - ✓ perda da raiz da solda → proximidade com o “root gap”



7. Principais defeitos de Solda

- Penetração Incompleta (parcial)

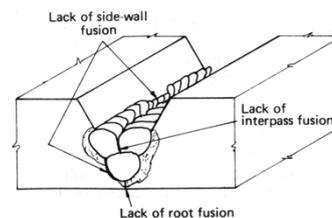
- ✓ baixa corrente
- ✓ ângulo de inclinação do eletrodo elevado → insuficiente concentração de energia
- ✓ eletrodo muito grande para o tamanho da junta
- ✓ seqüência de soldagem errada
- ✓ pequena abertura de raiz
- ✓ solda pelo lado oposto
- ✓ pouco provável de acontecer na solda com arco submerso
 - correntes elevadas



7. Principais defeitos de Solda

- Fusão Incompleta

- ✓ falta de penetração leve
 - rebarbas ou limpeza mal feita
- ✓ um passo não se liga ao outro

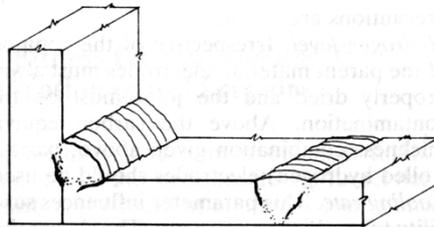


- Porosidade

- ✓ pequenas cavidades no metal da solda → aprisionamento de gás na solda líquida
- ✓ solubilidade do gás ↓ temperatura ↓
- ✓ lixadeira → liberar gases retidos → nova solda

7. Principais defeitos de Solda

- Fratura Frágil (zona termicamente afetada)
 - ✓ a fratura pode se desenvolver anos depois da solda ser executada
 - ✓ perda de ductilidade (composição química) → endurecimento
 - ✓ presença de hidrogênio → umidade / hidrocarbonos



7. Principais defeitos de Solda

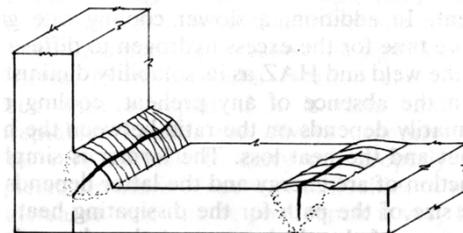
- Fratura Frágil (zona termicamente afetada)
 - ✓ Estabilidade ↓ Temperatura ↓
 - ✓ perda de ductilidade (composição química) → endurecimento
 - ✓ presença do gás → frágil → fissuras
- Eliminação da fratura frágil
 - ✓ A) Controle da Composição Química % C Equivalente
 - Se % CE ≥ 0,41% e espessura da placa t ≥ 30mm → Fratura frágil
 - $\%CE = \%C + \%Mn / 6 + (\%Ni + \%C) / 15 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5$
 - ✓ Nível de Hidrogênio
 - Eletrodos secos (forno)
 - Para níveis maiores de %CE > 0.41% e t ≥ 30mm → Eletrodos especiais (hidrogênio controlado)

7. Principais defeitos de Solda

- **Eliminação da fratura frágil**
 - ✓ Taxa de resfriamento
 - Sem preaquecimento depende da razão calor fornecido (energia do arco) / calor dissipado (tipo de passe)
 - Menor a taxa → H se dissipa mais rápido e facilmente
 - ✓ Restrição
 - Maior restrição → mais tensões residuais → maior tendência de produzir fratura

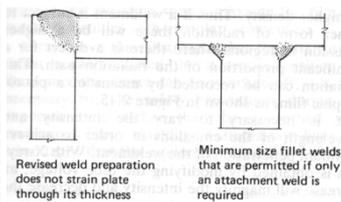
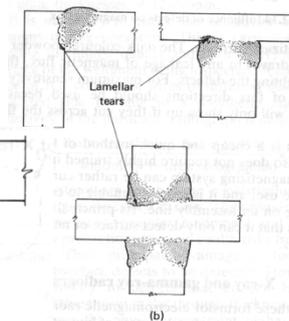
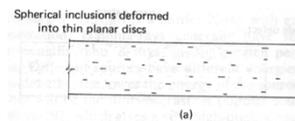
7. Principais defeitos de Solda

- **Solidificação do Metal Base**
 - ✓ fratura longitudinal no centro da solda logo após a solidificação
 - ✓ o último ponto a se resfriar → contração → fratura
 - ✓ impurezas formam um micro filme ao longo dos grãos → fratura preferencial
 - ✓ passos menores
 - ✓ menos corrente
 - ✓ eletrodos com alta concentração de manganês (ponto de fusão maior do sulfato de manganês)



7. Principais defeitos de Solda

- Fratura Lamelar
 - ✓ causada por defeitos provocados na laminação do perfil conjugados com deformações provocadas por encurtamento após efetuada a solda
 - ✓ Impurezas alongadas
 - ✓ Metal da junta → Grande ductilidade
 - ✓ Fratura interna
 - ✓ Aços especiais



8. Inspeção

- Inspeção visual
 - ✓ qualidade de preparação / execução da solda
 - ✓ fratura de passo na raiz
 - ✓ alinhamento dos passos / multipasso
 - ✓ limpeza após cada passo
 - ✓ “undercut”, porosidade e perfil da superfície da chapa soldada
 - ✓ configuração final da solda

8. Inspeção

- Líquidos penetrantes → Fraturas superficiais
- Partículas magnéticas → Variação no fluxo magnético

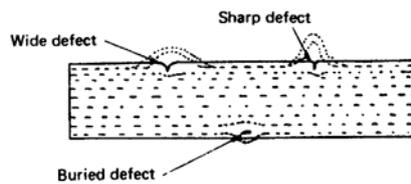


Figure 2.14 Influence of defects on magnetic flux

8. Inspeção

- Raio X e Ultrassom

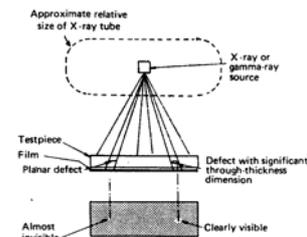


Figure 2.15 Principles of X- and gamma-ray inspection

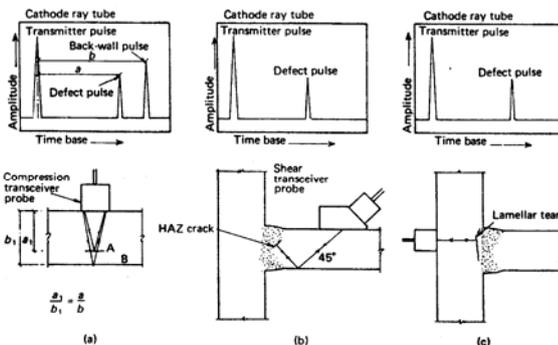


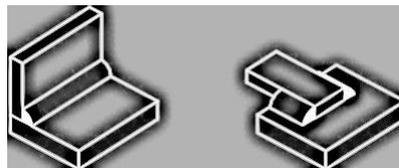
Figure 2.16 Examples of ultrasonic defect detection. (a) Planar defect in plain plate; (b) HAZ crack in Tee-butt weld; (c) lamellar tear in Tee-butt weld

9. Tipos Principais de Soldas

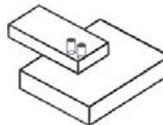
- Solda de entalhe (butt welds)



- Solda de filete (fillet welds)



- Solda de bujão (tampão) (plugg welds)



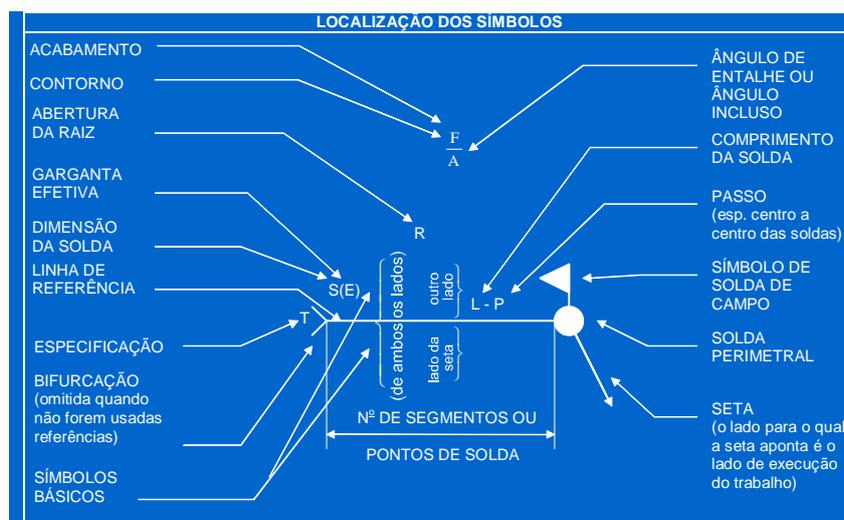
10. Resistência do Metal de Solda (f_w)

Metal da solda	$f_w (X_u)$ (MPa)
E60XX F6X-EXXX E6XT-X	415
E70XX F7X-EXXX ER705-X E7XT-X	485

11. Nomenclatura de Soldagem

SÍMBOLOS DE SOLDA ELÉTRICA										
Rebordo	Filete	Enchi-mento	SOLDAS DE ENTALHE						Filetes convexos	
			Reta	V simples	Bisel simples	U simples	J simples	duplo	simples	
SÍMBOLOS COMPLEMENTARES										
Solda perimetral		Solda de campo		Contorno						
				Esmerilhado		Convexo				

11. Nomenclatura de Soldagem



11. Nomenclatura de Soldagem

Notas:

A dimensão, o símbolo da solda, comprimento e passo da solda são sempre fornecidos nesta ordem sobre a linha de referência da esquerda para a direita.

A dimensão da perna nas soldas ∇ , \sphericalangle , \sphericalangle e \sphericalangle deve estar sempre à esquerda do símbolo.

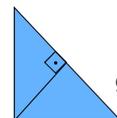
As soldas de ambos os lados e do mesmo tipo têm as mesmas dimensões, exceto onde anotado. Dimensão e espaçamento de soldas de filete devem ser mostrados junto aos símbolos (lado da seta e outro lado) da solda.

A bifurcação da seta é usada para especificações de montagem, processos de soldagem ou outras referências.



12. Exemplos

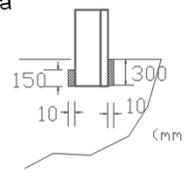
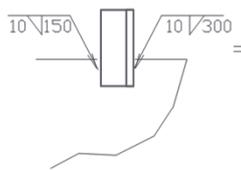
perna



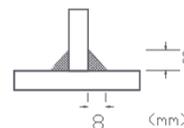
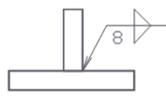
garganta

perna

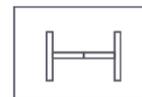
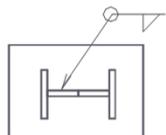
solda de filete com 10mm de garganta e 150 e 300mm de comprimento, respectivamente



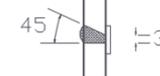
solda de filete com 8mm de garganta e 150 e 300mm de comprimento, respectivamente



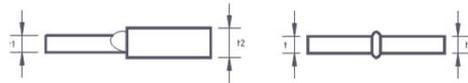
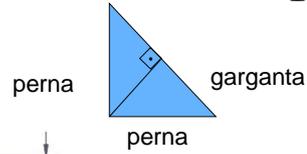
solda de filete perimetral (não foi indicada a espessura da garganta)



solda de entalhe com "gap root" de 3 mm e ângulo de inclinação de 45°



12. Exemplos



(a) Entalhe com penetração total



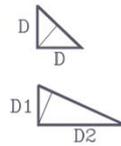
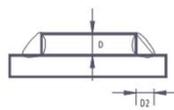
(b) Entalhe com penetração parcial

$$45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$

$$\alpha > 60^\circ$$

$$t_w = D - 3 \text{ mm}$$

$$t_w = D$$



$$t_w = \frac{D_1 D_2}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}$$

(c) Filete

12. Exemplos

WELDING SYMBOLS

<p>DOUBLE FILLET WELDING SYMBOL</p> <p>SIZE (LENGTH OF LEG) →</p> <p>SPECIFICATION PROCESS OR OTHER REFERENCE →</p> <p>LENGTH OMISSION INDICATES THAT WELD EXTENDS BETWEEN ABRUPT CHANGES IN DIRECTION OR AS DIMENSIONED →</p>	<p>SQUARE-GROOVE WELDING SYMBOL</p> <p>OMISSION OF SIZE INDICATES COMPLETE JOINT PENETRATION →</p> <p>ROOT OPENING →</p>
<p>CHAIN INTERMITTENT FILLET WELDING SYMBOL</p> <p>SIZE (LENGTH OF LEG) →</p> <p>LENGTH OF INCREMENTS →</p> <p>PITCH (DISTANCE BETWEEN CENTRES) OF INCREMENTS →</p>	<p>SINGLE V-GROOVE WELDING SYMBOL</p> <p>SIZE (DEPTH OF CHAMFERING) OMISSION INDICATES DEPTH OF CHAMFERING EQUAL TO THICKNESS OF MEMBER →</p> <p>ROOT OPENING →</p> <p>GROOVE ANGLE →</p>
<p>STAGGERED INTERMITTENT FILLET WELDING SYMBOL</p> <p>SIZE (LENGTH OF LEG) →</p> <p>LENGTH OF INCREMENTS →</p> <p>PITCH (DISTANCE BETWEEN CENTRES) OF INCREMENTS →</p>	<p>SINGLE V-GROOVE WELDING SYMBOL INDICATING ROOT PENETRATION</p> <p>DEPTH SIZE OF PREPARATION EFFECTIVE THROAT →</p> <p>GROOVE ANGLE →</p> <p>ROOT OPENING →</p>
<p>BEAD WELD SYMBOL INDICATING BEAD TYPE BACK WELD</p> <p>ANY APPLICABLE SINGLE GROOVE WELD SYMBOL →</p>	<p>DOUBLE-BEVEL GROOVE WELDING SYMBOL</p> <p>ARROW POINTS TOWARD MEMBER TO BE CHAMFERED →</p> <p>OMISSION OF SIZE DIMENSION INDICATES A TOTAL DEPTH OF PREPARATION EQUAL TO THICKNESS OF MEMBER →</p> <p>ROOT OPENING →</p> <p>GROOVE ANGLE →</p>
<p>DUAL BEAD WELD SYMBOL INDICATING BUILT-UP SURFACE</p> <p>SIZE (HEIGHT OF DEPOSIT); OMISSION INDICATES NO SPECIFIC HEIGHT DESIRED →</p> <p>ORIENTATION, LOCATION AND ALL DIMENSIONS OTHER THAN SIZE ARE SHOWN ON THE DRAWING →</p>	<p>PLUG WELDING SYMBOL</p> <p>INCLUDED ANGLE OF COUNTERSINK →</p> <p>DEPTH OF FILLING OMISSION INDICATES FILLING IS COMPLETE →</p> <p>PITCH (DISTANCE BETWEEN CENTRES) OF WELDS →</p> <p>SIZE (DIA. OF HOLE AT ROOT) →</p>
<p>SEAM WELDING SYMBOL</p> <p>SIZE (WIDTH OF WELD); MIN. ACCEPTABLE SHEAR RESISTANCE MAY BE USED INSTEAD →</p> <p>LENGTH OF WELDS OR INCREMENTS OMISSION INDICATES THAT WELD EXTENDS BETWEEN ABRUPT CHANGES IN DIRECTION OR AS DIMENSIONED →</p> <p>PITCH (DISTANCE BETWEEN CENTRES) OF INCREMENTS →</p>	<p>SLOT WELDING SYMBOL</p> <p>DEPTH OF FILLING OMISSION INDICATES FILLING IS COMPLETE →</p> <p>ORIENTATION, LOCATION AND ALL DIMENSIONS OTHER THAN SIZE ARE SHOWN ON THE DRAWING →</p>

12. Exemplos

