



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

- PROCESSOS DE JUNÇÃO -

Profa. Izabel Machado
Prof. Rodrigo Stoeterau



Tópicos

- ▶ Processos de fabricação
- ▶ Definição
- ▶ Classificação dos processos de soldagem
- ▶ Evolução
- ▶ Soldagem- Vantagens
- ▶ Soldagem- Desvantagens
- ▶ Classificação quanto ao tipo de fonte
- ▶ Soldagem a gás
- ▶ Brasagem
- ▶ Soldagem a arco voltaico
- ▶ Processos especiais de soldagem
- ▶ Projeto de juntas soldadas



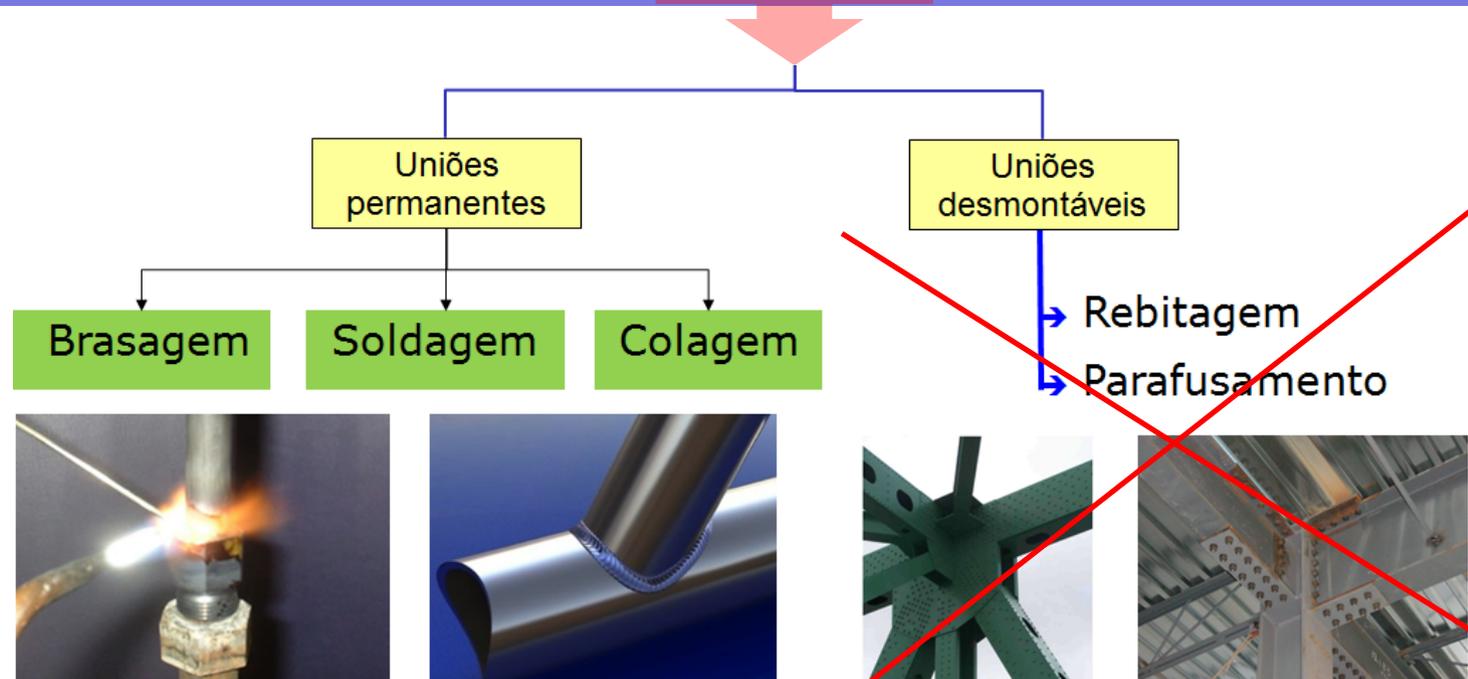
Divisão dos processos de fabricação



Processos secundários - alteram as geometrias e formas básicas, através da adição ou remoção de material.. Ex. Usinagem, estampagem, soldagem

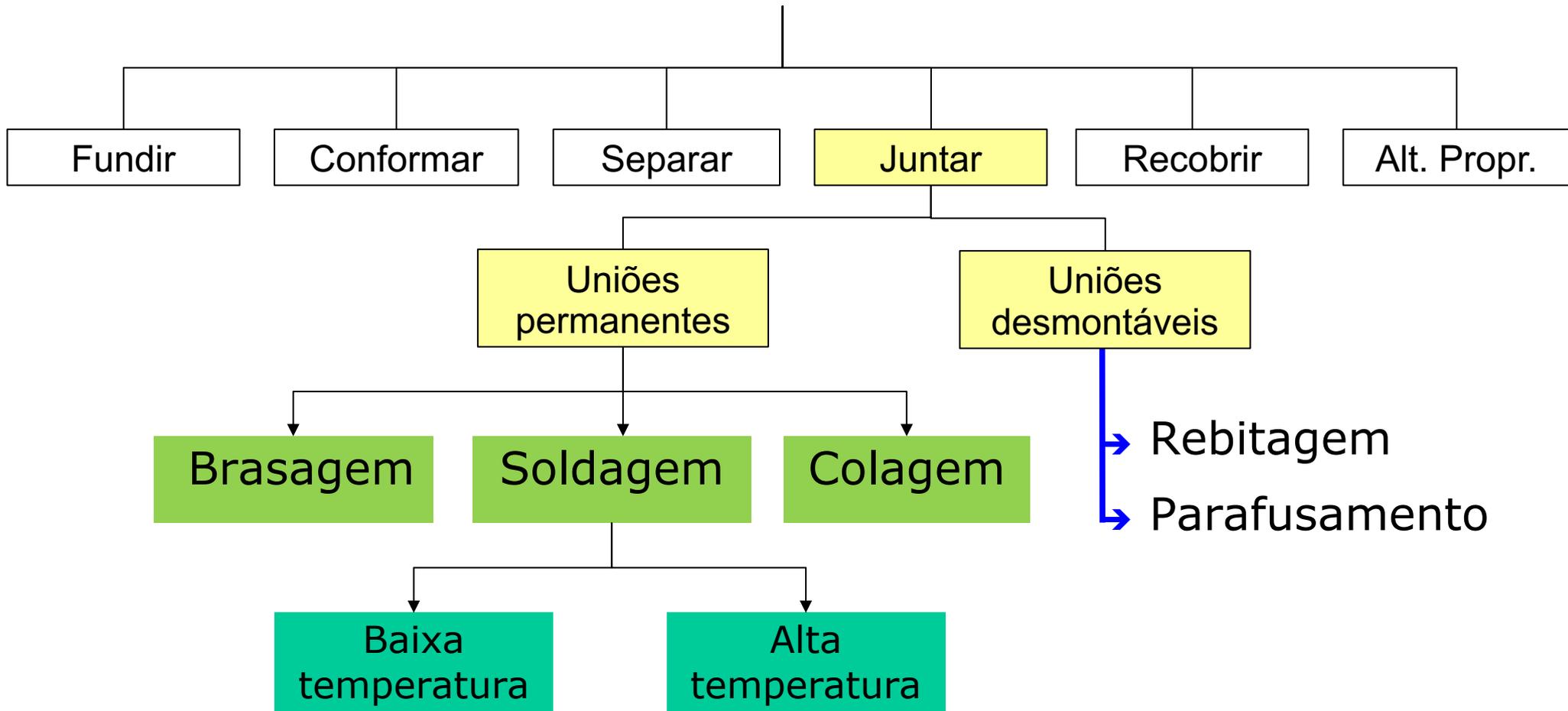


Divisão dos processos de fabricação





Processos de Fabricação



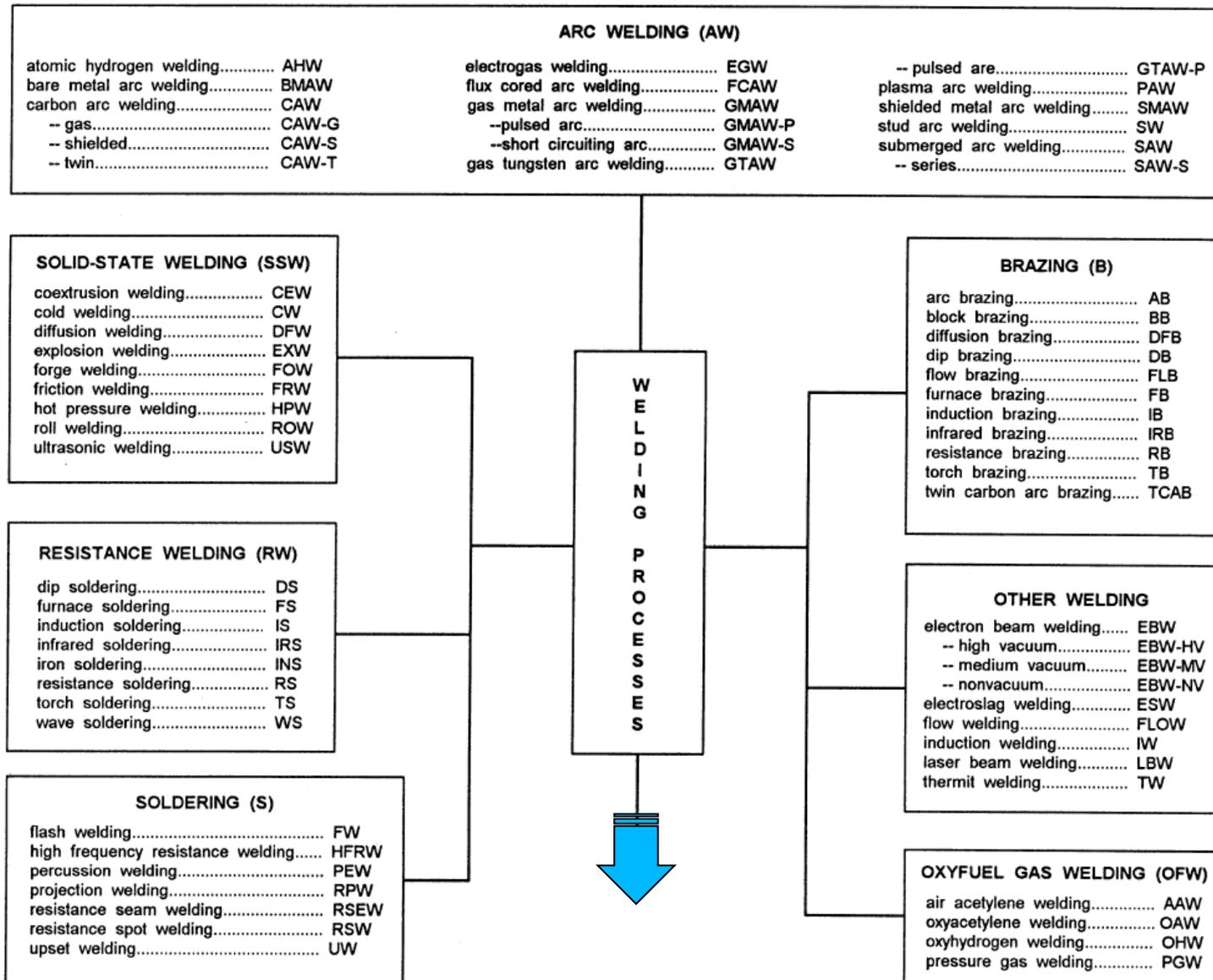


Definição

- ▶ soldagem é considerada um método de união permanente de duas ou mais peças através da adição de material na fase líquida, garantindo a continuidade das propriedades físicas, químicas e mecânicas ao longo da união.
- ▶ Pode ser utilizada também para deposição de materiais sobre uma superfície
- ▶ Também pode ser utilizada para obter a coalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada

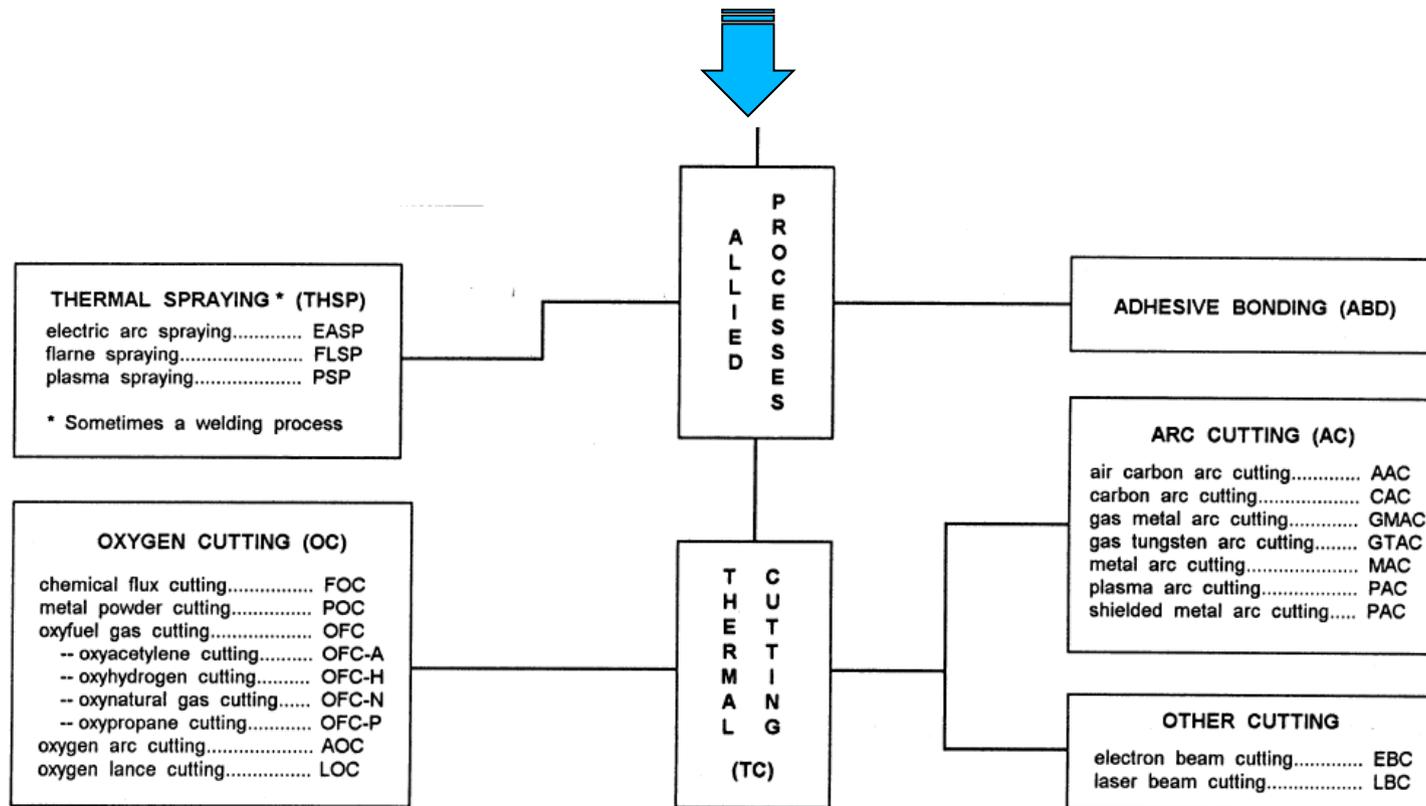


Classificação dos processos de soldagem



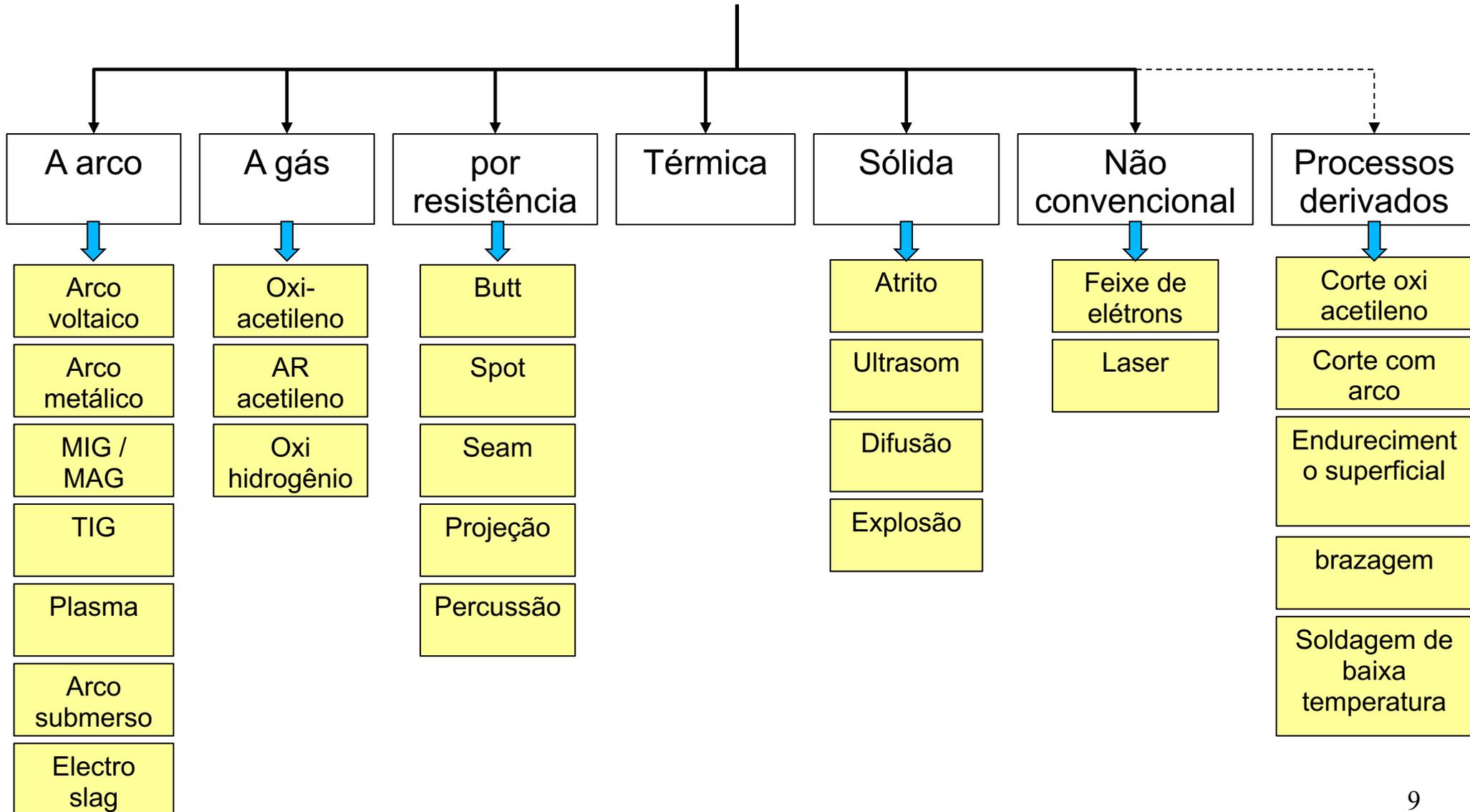


Classificação dos processos de soldagem



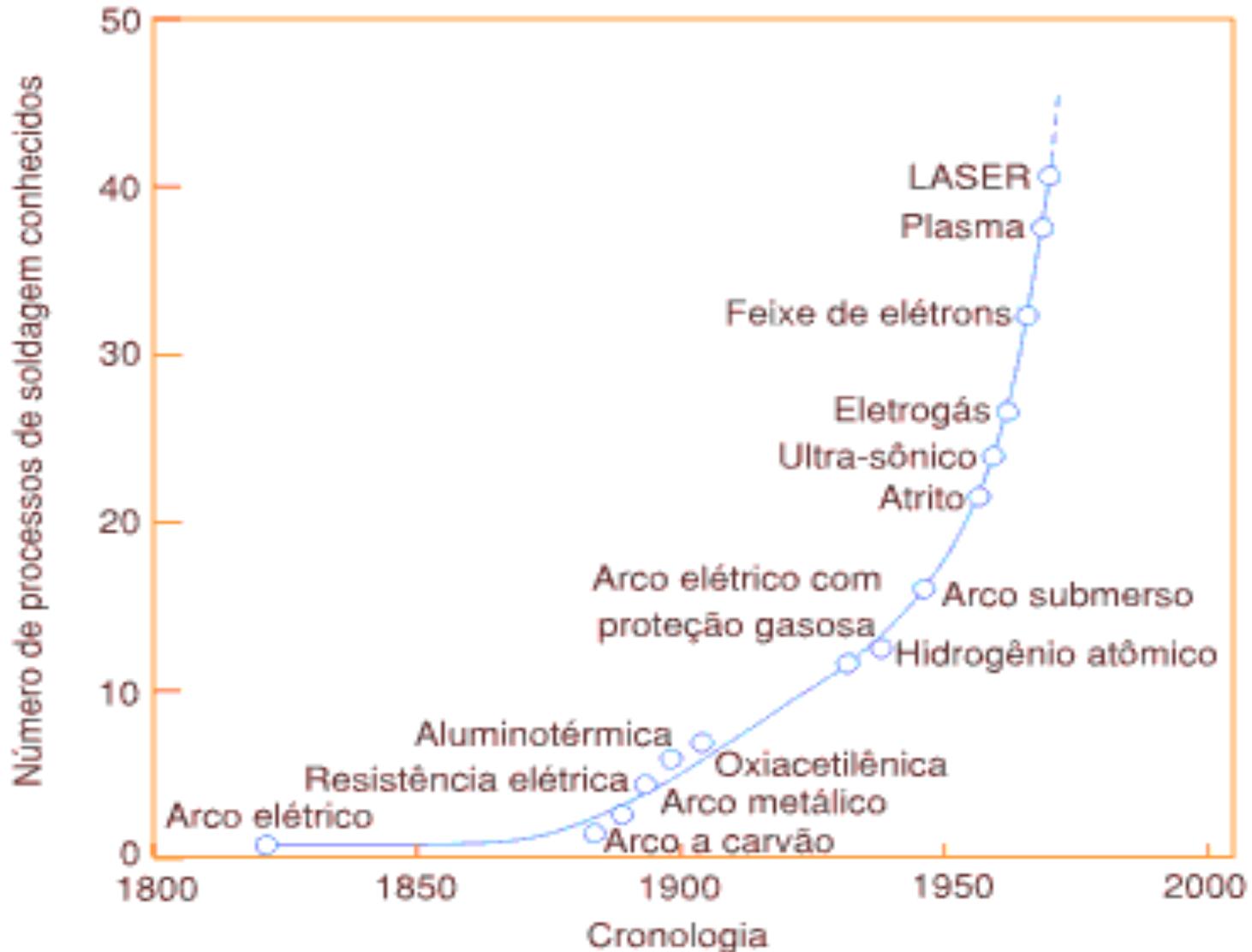


Classificação dos processos de soldagem





Evolução





Soldagem

Vantagens:

- ▶ Quando bem realizada a união é mais resistente do que o metal de base
- ▶ O custo dos equipamentos de soldagem em geral são baixos
- ▶ Os equipamentos podem ser portáteis e permitem operação em campo
- ▶ Liberdade de projeto
- ▶ Grande variedade de materiais de adição
- ▶ A soldagem pode ser realizada em inúmeras configurações
- ▶ Pode ser automatizada



Soldagem

Desvantagens:

- ▶ Pode produzir radiações, fumos e salpicos prejudiciais a saúde
- ▶ Pode provocar tensões residuais e deformações na peça
- ▶ Custo de formação do operador, e necessidade de qualificações periódicas
- ▶ Alterações metalúrgicas devido ao calor gerado
- ▶ Estruturas soldadas geralmente necessitam de tratamento térmico para alívio de tensões



Soldagem

► Classificação quanto ao tipo de fonte

Tipo de Fonte		
Mecânica	Química	Elétrica
Soldagem a frio (CW)	Soldagem a gás com pressão (PGW)	Soldagem de prisoneiros (SW)
Soldagem por pressão a quente (HPW)	Soldagem por forjamento (FOW)	Soldagem com arco magneticamente impellido (MIAB)
Soldagem por forjamento (FOW)		Soldagem por resistência a ponto (RSW)
Colaminação (ROW)		Soldagem por resistência de costura (RSEW)
Soldagem por fricção (FRW)		Soldagem por projeção (PW)
Soldagem por ultrassom (USW)		Soldagem por centelhamento (FW)
Soldagem por explosão (EXW)		Soldagem por resistência de topo (UW)
Soldagem por difusão (DFW)		Soldagem por indução (HFRW)



Soldagem

► Classificação quanto ao tipo de fonte

Tipo de Fonte	
Química	Energia radiante
Soldagem a gás (OFW)	Soldagem a laser (LBW)
Brasagem com tocha (TB)	Soldagem por feixe de elétrons (EBW)
Soldagem aluminotérmica (TW)	Soldagem ou brasagem com infravermelho (IB)
Brasagem reativa/união com fase líquida transiente (TLPB)	Soldagem com micro-ondas
	Brasagem em forno (FB)
	Brasagem por imersão (DB)



Soldagem

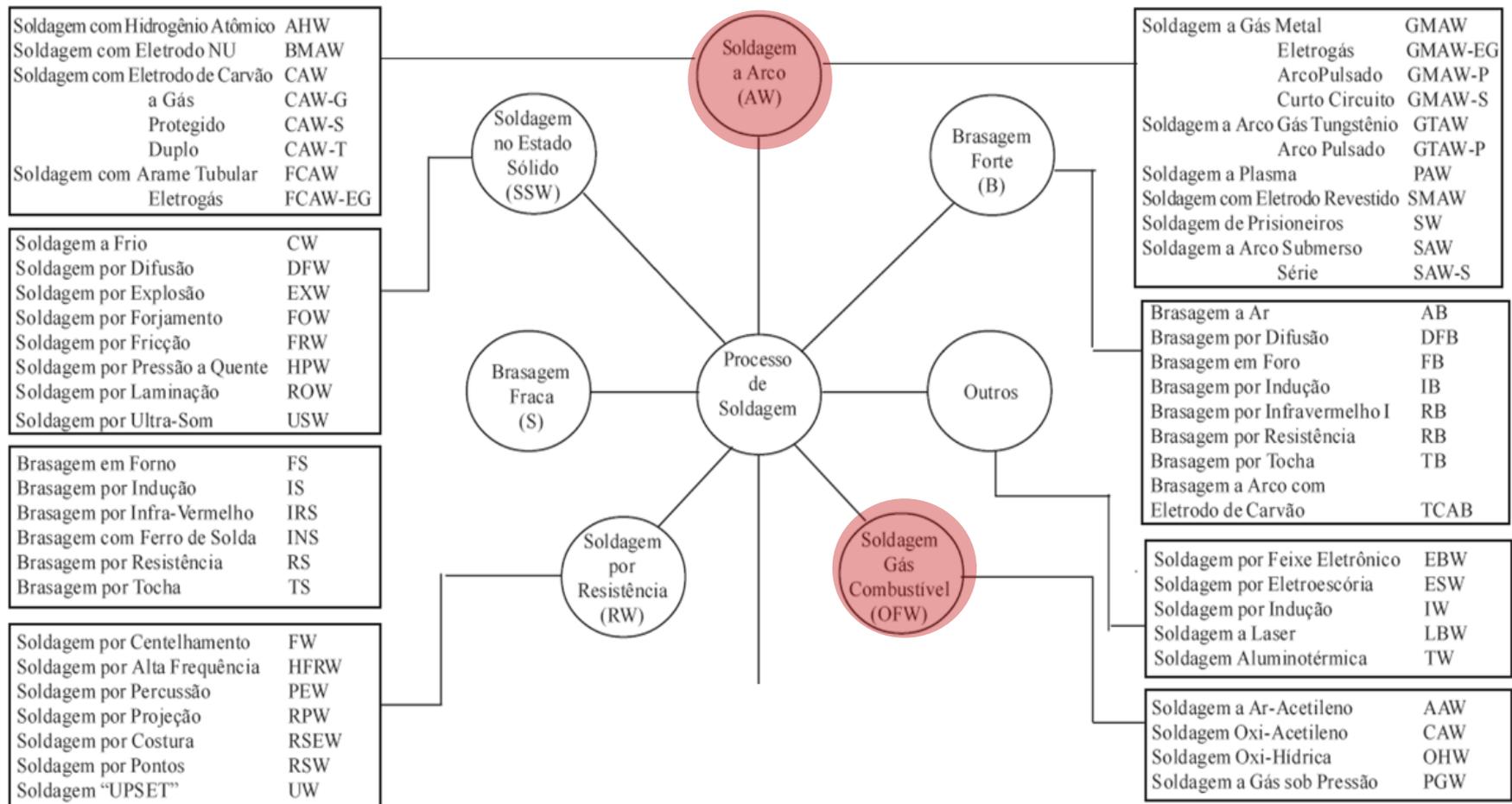
► Classificação quanto ao tipo de fonte

Tipo de Fonte		
Arco – elet. não consumível	Arco – elet. consumível	Resistência
Soldagem a gás com eletrodo de tungstênio (GTAW ou TIG)	Soldagem a gás com eletrodo metálico (GMAW ou MIG/MAG)	Soldagem a ponto (RSW)
Soldagem a plasma (PAW)	Soldagem com eletrodos revestidos (SMAW)	Soldagem de costura (RSEW)
Soldagem com eletrodo de carvão (CAW)	Soldagem com arame tubular (FCAW)	Soldagem de projeção (RPW)
Soldagem de prisoneiros (SW)	Soldagem ao arco submerso (SAW)	Soldagem por centelhamento (FW)
Soldagem com hidrogênio atômico (AHW)	Soldagem eletro-gás (EGW)	Soldagem de topo (UW)
Soldagem com arco magneticamente impelido (MIAB)		Soldagem por percursão (PEW)
		Soldagem/Brasagem por indução (HFRW/IB)
		Soldagem por eletroescória (ESW)



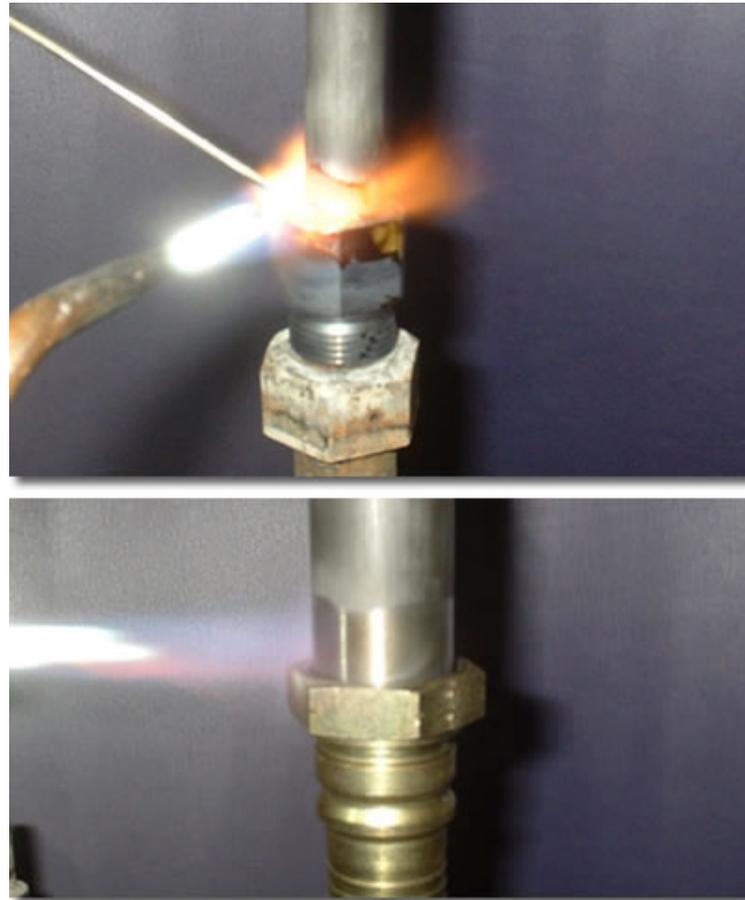
Soldagem

Segundo a AWS



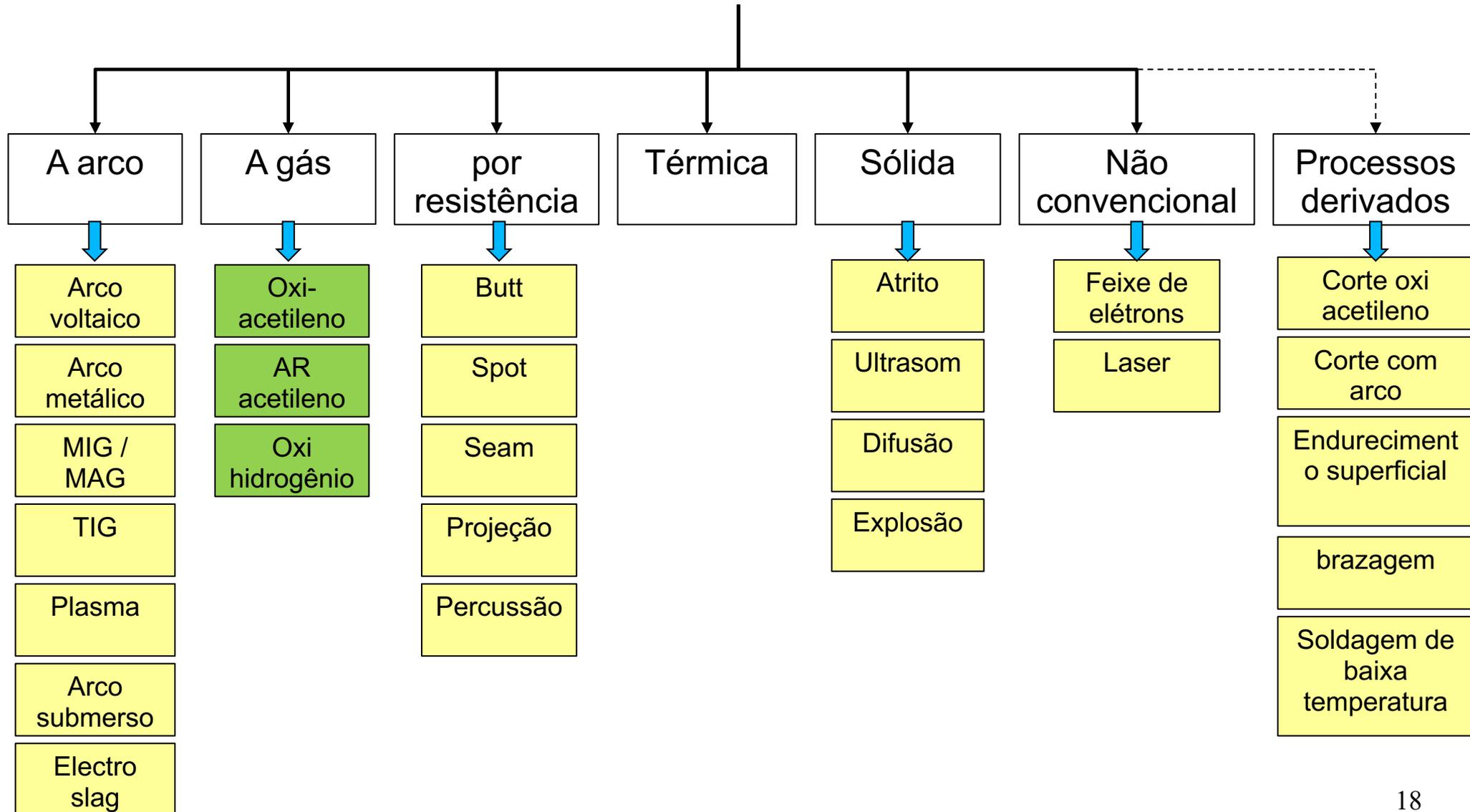


Soldagem a Gás





Classificação dos processos de soldagem





Soldagem a gás

- ▶ Soldagem a gás é um processo onde a fusão e união das peças é obtida pelo aquecimento proveniente de uma chama resultante da reação do gás com o oxigênio
- ▶ A variante mais comum é o processo de oxiacetileno devido a temperatura da chama
- ▶ A temperatura é na ordem de 3.300°C dependendo da regulagem da tocha/maçarico
- ▶ Material de proteção da poça de fusão (fluxo) pode ser adicionado
- ▶ O fluxo se funde e por diferença de densidade se solidifica na superfície do cordão de soldagem
- ▶ Geralmente utilizado para trabalhos de reparo
- ▶ Ideal para uso em metais de baixo ponto de fusão



Soldagem a gás oxiacetileno

- ▶ O processo soldagem por oxiacetileno utiliza oxigênio a gás combustível para produzir o calor necessário a fusão do metal, e produzir a união das peças
- ▶ A união pode ser feita com ou sem material de adição
- ▶ Boa opção para unir materiais diferentes
- ▶ É um processo de reparo



Soldagem a gás oxiacetileno

Vantagens:

- ▶ Versatilidade
- ▶ O soldador tem considerável controle sobre a temperatura do metal e região de soldagem
- ▶ A taxa de aquecimento e resfriamento é relativamente lenta
- ▶ O soldador tem controle do material de adição
- ▶ O equipamento é barato
- ▶ O custo de manutenção e reposição dos gases é baixo
- ▶ O custo total é baixo



Soldagem a gás oxiacetileno

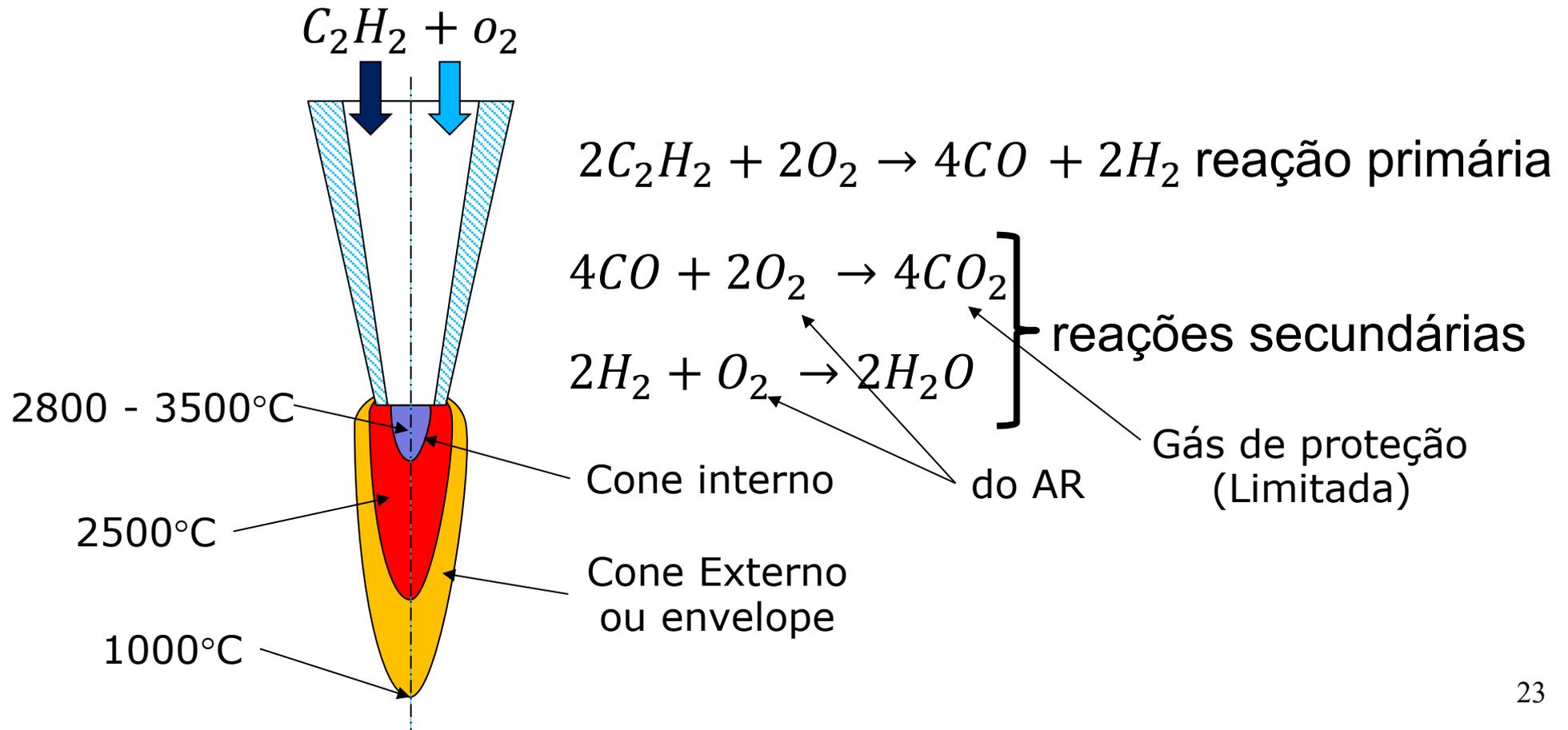
Desvantagens:

- ▶ Seções de grades não podem ser unidas de forma econômica
- ▶ A temperatura da chama é menor do que as produzidas por arco elétrico
- ▶ O fumos produzidos pelo uso de fluxo são irritantes ao soldador
- ▶ Tempo de aquecimento é longo
- ▶ Problema de segurança associados ao armazenamento dos gases
- ▶ O fluxo utilizado para proteção não é tão eficiente quanto nos processos a arco elétrico



Soldagem a gás oxiacetileno

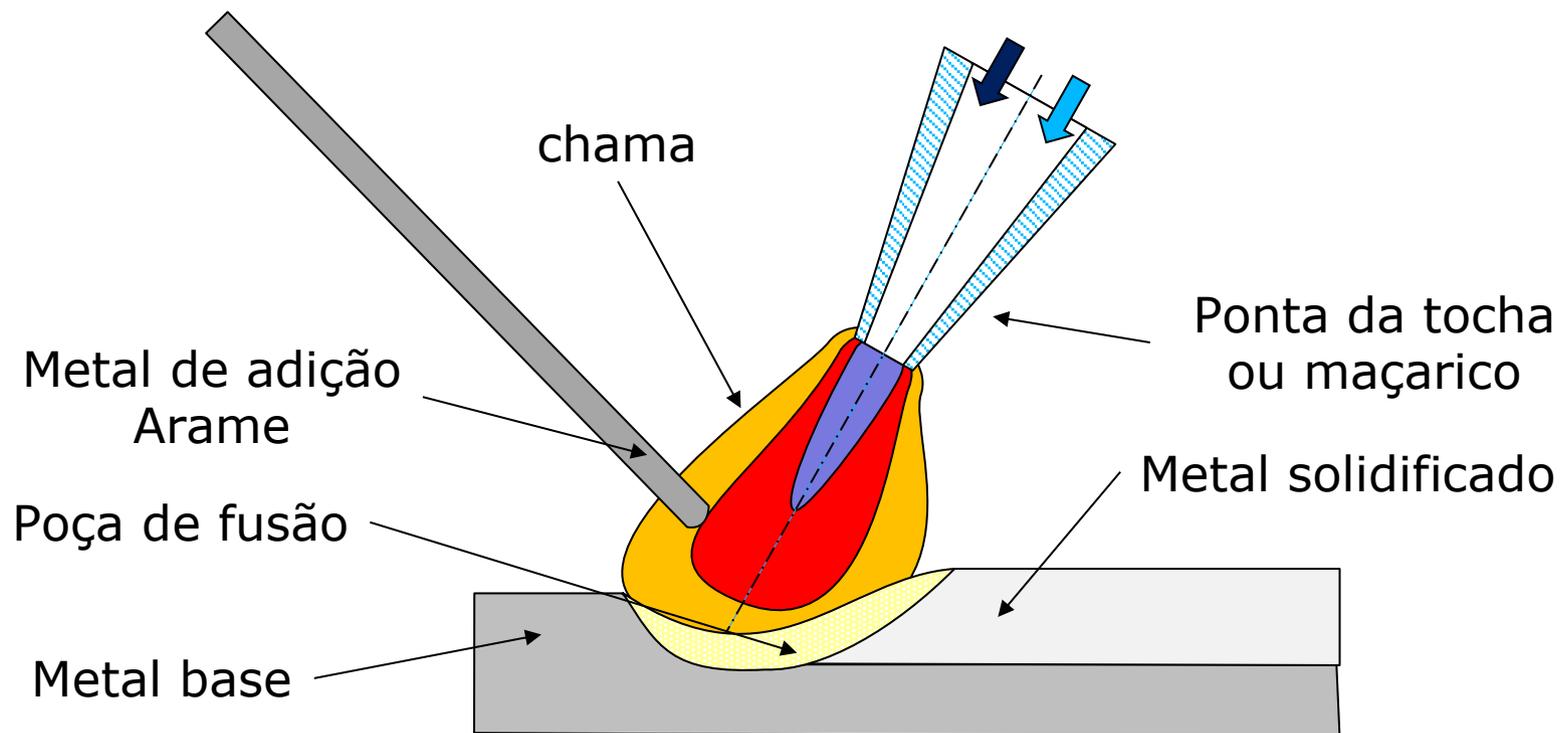
- ▶ Reação da soldagem por oxiacetileno





Soldagem a gás oxiacetileno

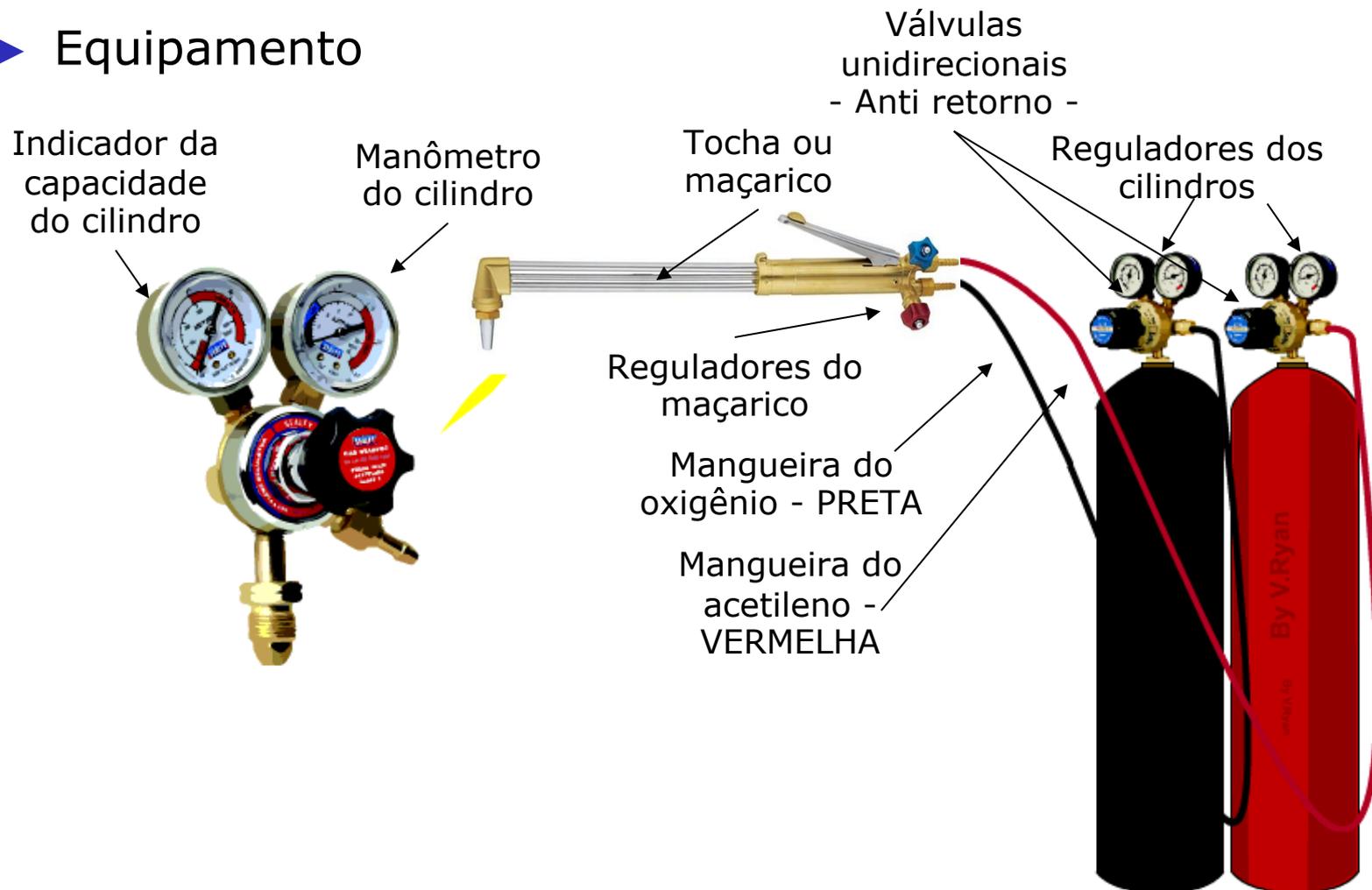
► Operação típica





Soldagem a gás oxiacetileno

► Equipamento

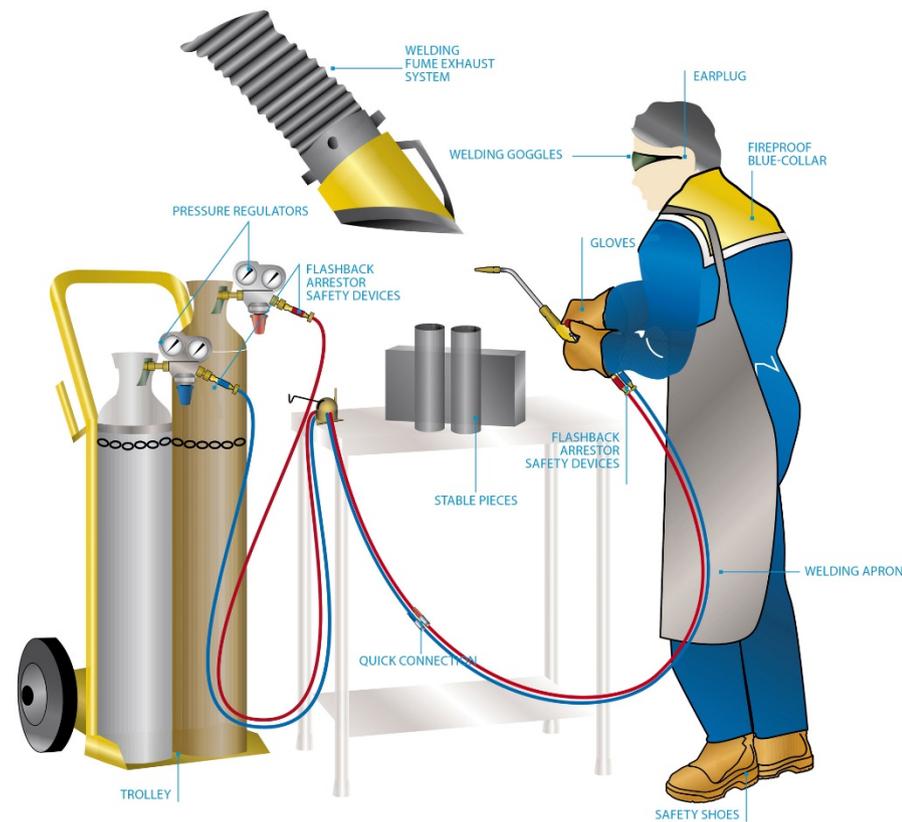




Soldagem a gás oxiacetileno

► Equipamento

Correct and safe oxygas welding station

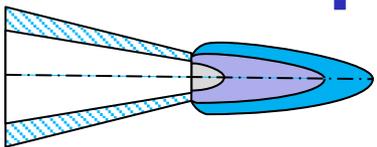
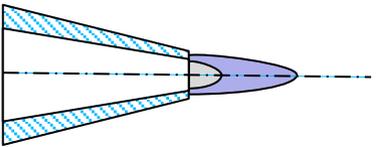
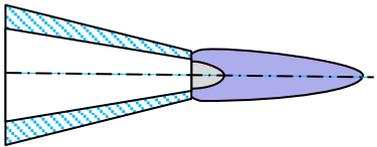




Soldagem a gás oxiacetileno

► Tipos de chamas

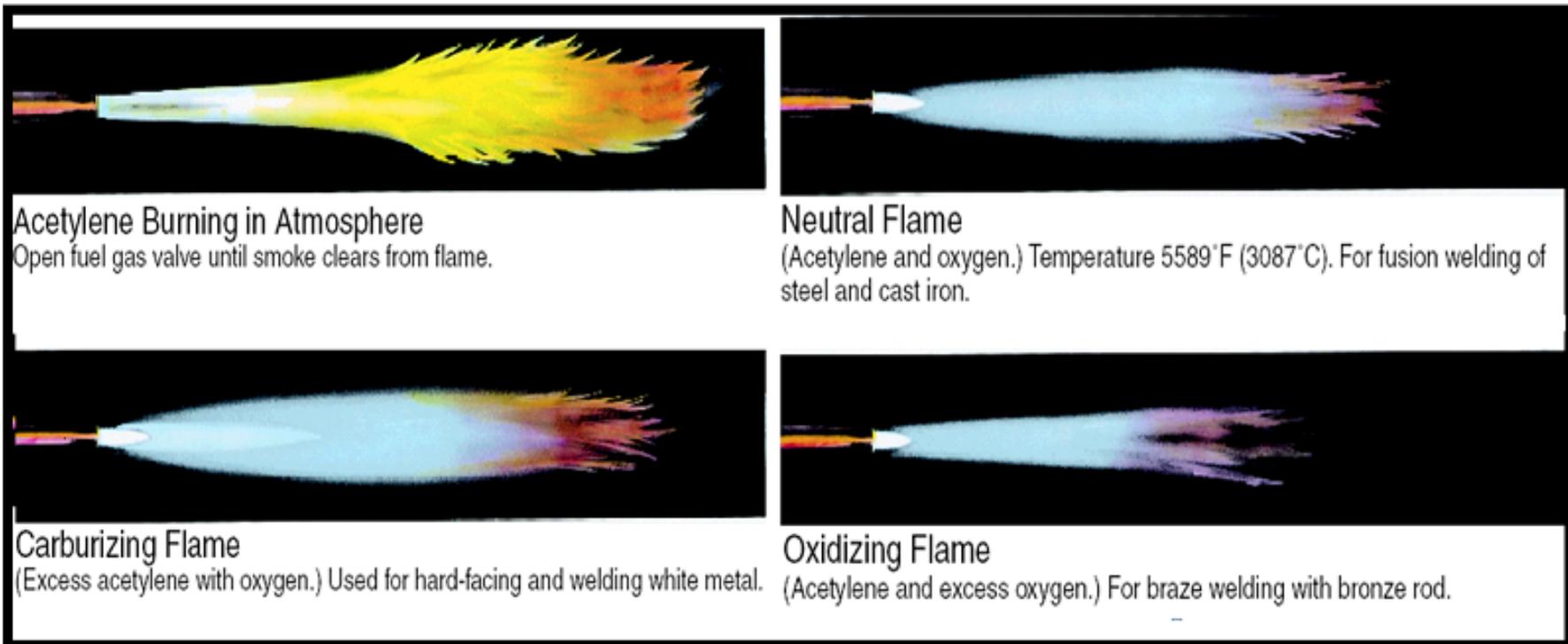
- Existem três tipos de chamas
- Chama neutra – onde as proporções de acetileno e oxigênio são iguais. A queima ocorre na ponta do maçarico e o cone interno é na ordem de 2/3 da área da chama. Chama com cone interno esbranquiçado com envelope azulado e temperatura de cerca de 3000°C.
- Chama reduzida – nesta há o excesso de acetileno, e a combustão deste é incompleta, recomendada para a soldagem de alumínio, cobre e aços. Chama brilhante, com cone interno azulado e temperatura de cerca de 3200°C.
- Chama oxidante – nesta há excesso de oxigênio, recomendada para soldagem de bronze. Chama escura com cone interno curto e temperatura de cerca de 3400°C.





Soldagem a gás oxiacetileno

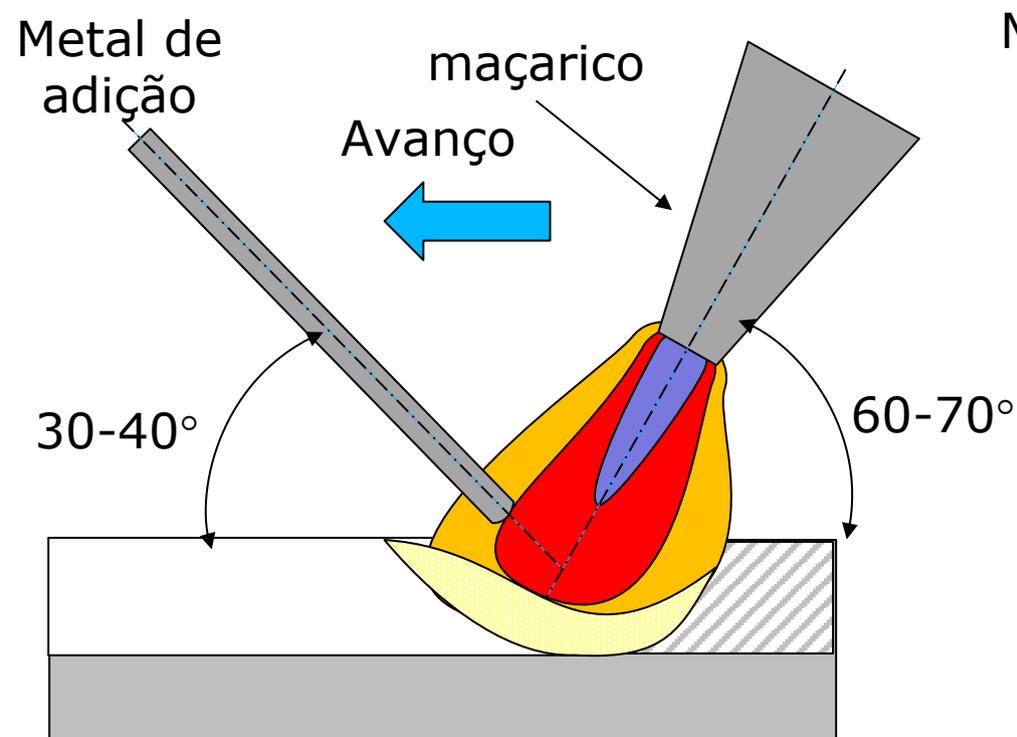
► Tipos de chamas



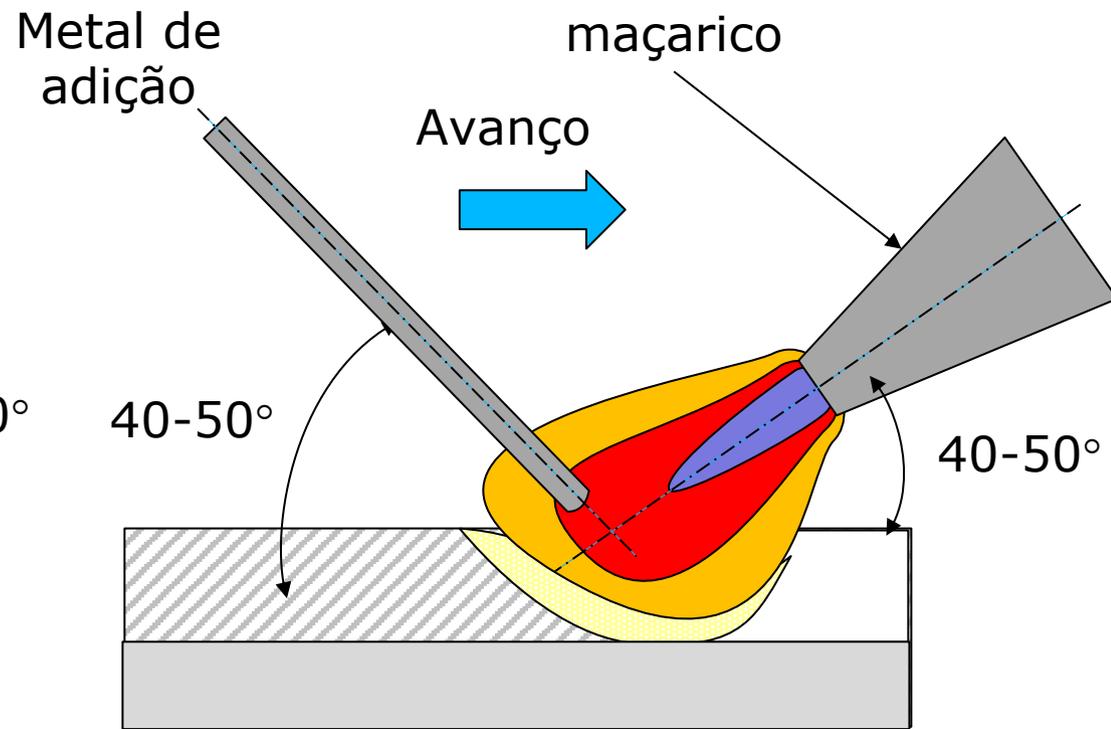


Soldagem a gás oxiacetileno

► Técnicas de soldagem



Avanço a esquerda



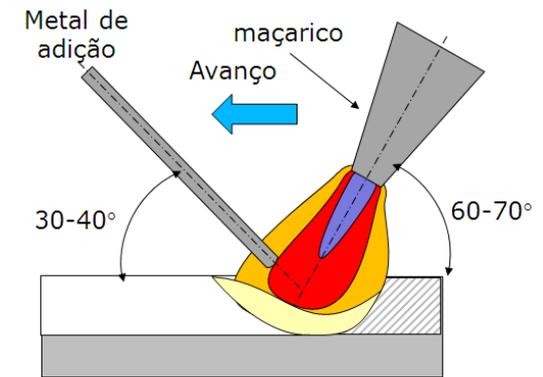
Avanço a direita



Soldagem a gás oxiacetileno

▶ Avanço a esquerda

- ▶ O maçarico é seguro pela mão direita e a vareta (material de adição) com a esquerda
- ▶ A chama é direcionada no sentido contrário ao do cordão de solda
- ▶ A soldagem se inicia a direita e o sentido de avanço é para a esquerda
- ▶ O maçarico pode realizar um leve movimento de zig-zag, enquanto o movimento da vareta é linear
- ▶ A vareta realiza um movimento oscilatório de baixo para cima e vice versa em direção a poça de soldagem

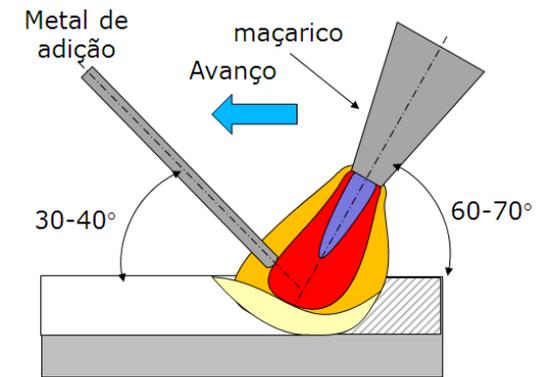




Soldagem a gás oxiacetileno

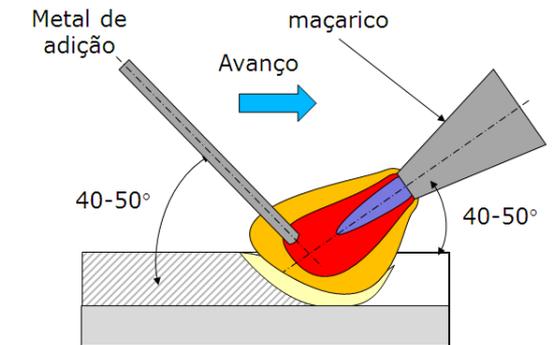
▶ Avanço a esquerda

- ▶ Proporciona bom controle e o cordão é visualmente melhor
- ▶ recomendada para chapas finas com espessura inferiores a 5mm
- ▶ Para chapas com espessura inferior a 3 mm é recomendado o uso de chanfro nas bordas, para garantir penetração de raiz
- ▶ O ângulo do chanfro deve ser entre 80-90°
- ▶ Para chapas com espessura superiores a 6,5mm é difícil obter penetração de raiz
- ▶ A qualidade da soldagem diminui com o aumento da espessura
- ▶ A técnica requer cuidado na manipulação para evitar fusão excessiva





Soldagem a gás oxiacetileno



▶ Avanço a direita

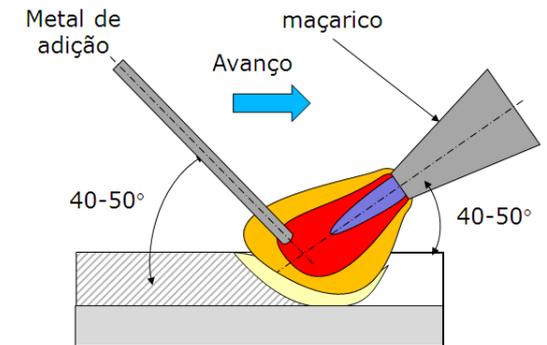
- ▶ O maçarico é seguro pela mão direita e a vareta (material de adição) com a esquerda
- ▶ A soldagem se inicia à esquerda e o sentido de avanço é para a direita
- ▶ Como a chama está constantemente direcionada para a raiz da junta, não é necessário realizar o movimento de zig-zag.
- ▶ A vareta pode realizar um movimento circular ou semi-circular na borda da poça de soldagem
- ▶ Utilizada para espessuras superiores a 5 mm, pode-se obter penetrações de até 12 mm.



Soldagem a gás oxiacetileno

▶ Avanço a direita

- ▶ Para espessuras de até 8mm não há a necessidade de preparação da junta a ser soldada, o que reduz o custo.
- ▶ Para espessuras de chapa superiores a 8 mm é necessário a preparação com um chanfro de 60°, o que requer menos material para preenchimento
- ▶ Não há obstrução da visão da poça de fusão ou da raiz
- ▶ Necessita de menos material de deposição
- ▶ Menor dano térmico e distorções
- ▶ Melhor qualidade do cordão de solda
- ▶ Menor custo

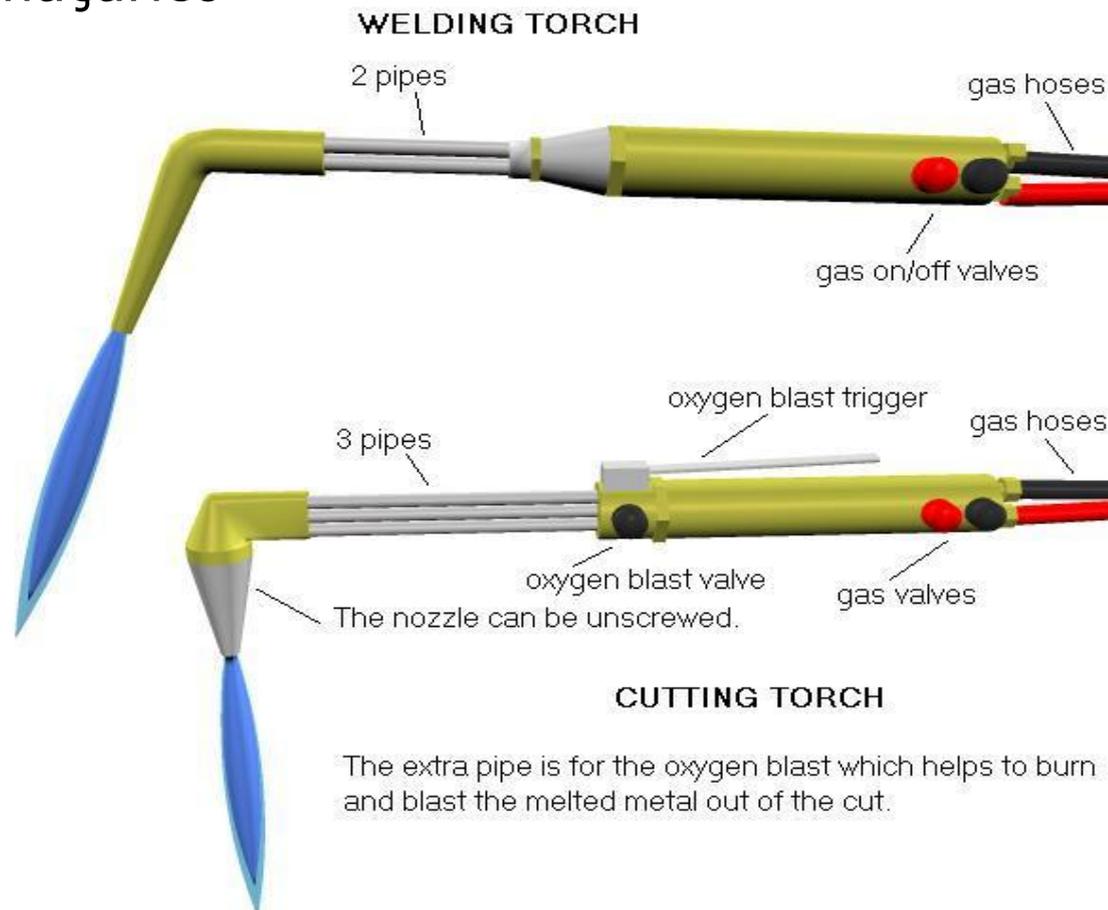




Soldagem a gás

oxiacetileno

► Tipos de maçarico



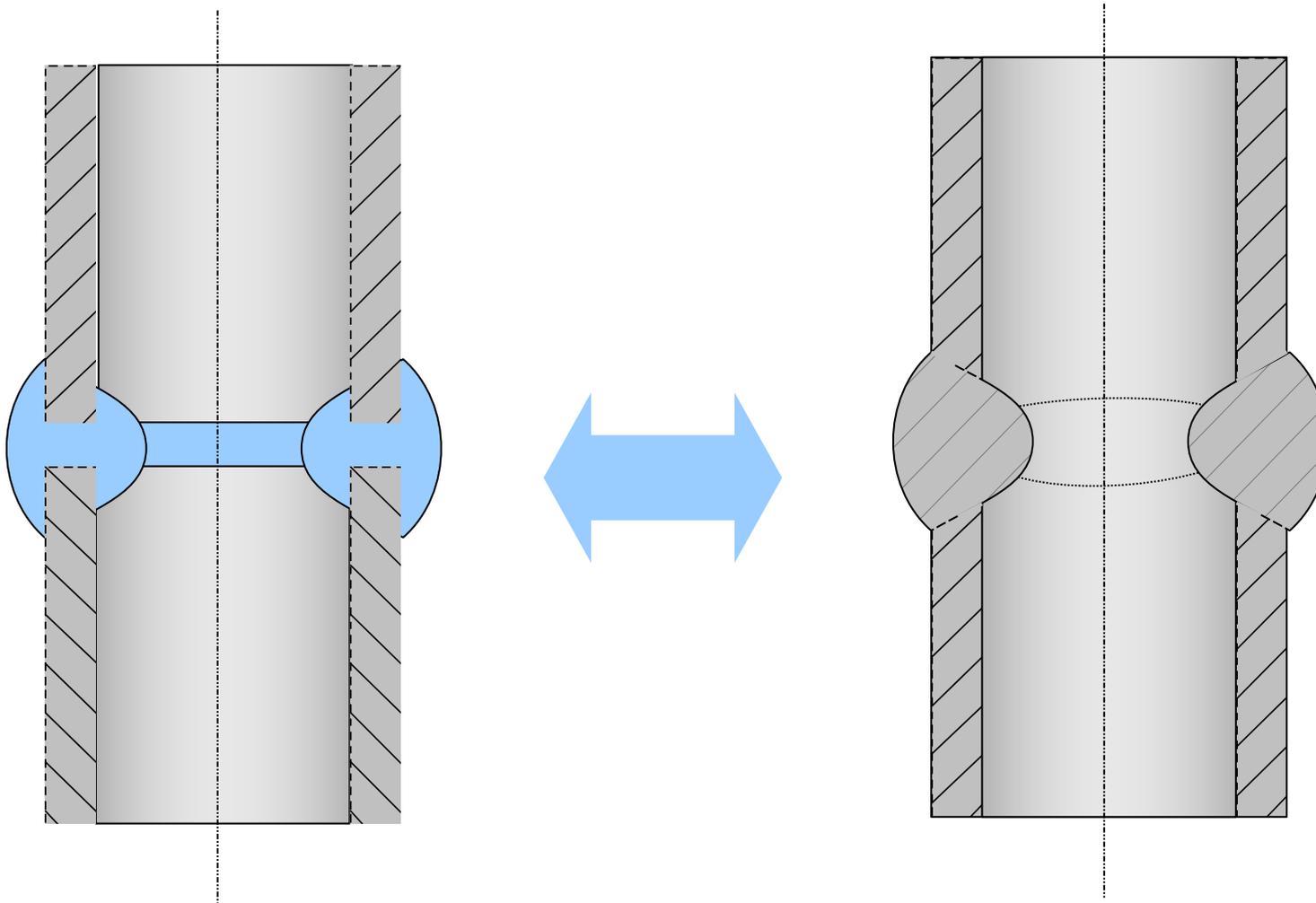


Brasagem

- ▶ Brasagem é um processo união permanente a baixa temperatura, geralmente realizado a temperaturas inferiores a 450°C.
- ▶ A temperatura de execução do processo é bem inferior a temperatura de fusão dos metais de base
- ▶ Geralmente produz resistência inferior



Brasagem X Soldagem





Brasagem

Vantagens:

- ▶ Materiais diferentes podem ser unidos
- ▶ Peças de pequena espessura podem ser unidas
- ▶ Peças com diferentes espessuras podem ser unidas
- ▶ As tensões térmicas resultantes nas peças unidas são pequenas

Desvantagens:

- ▶ Resistência da junta soldada é inferior
- ▶ Preparação da junta deve ser mais cuidadosa

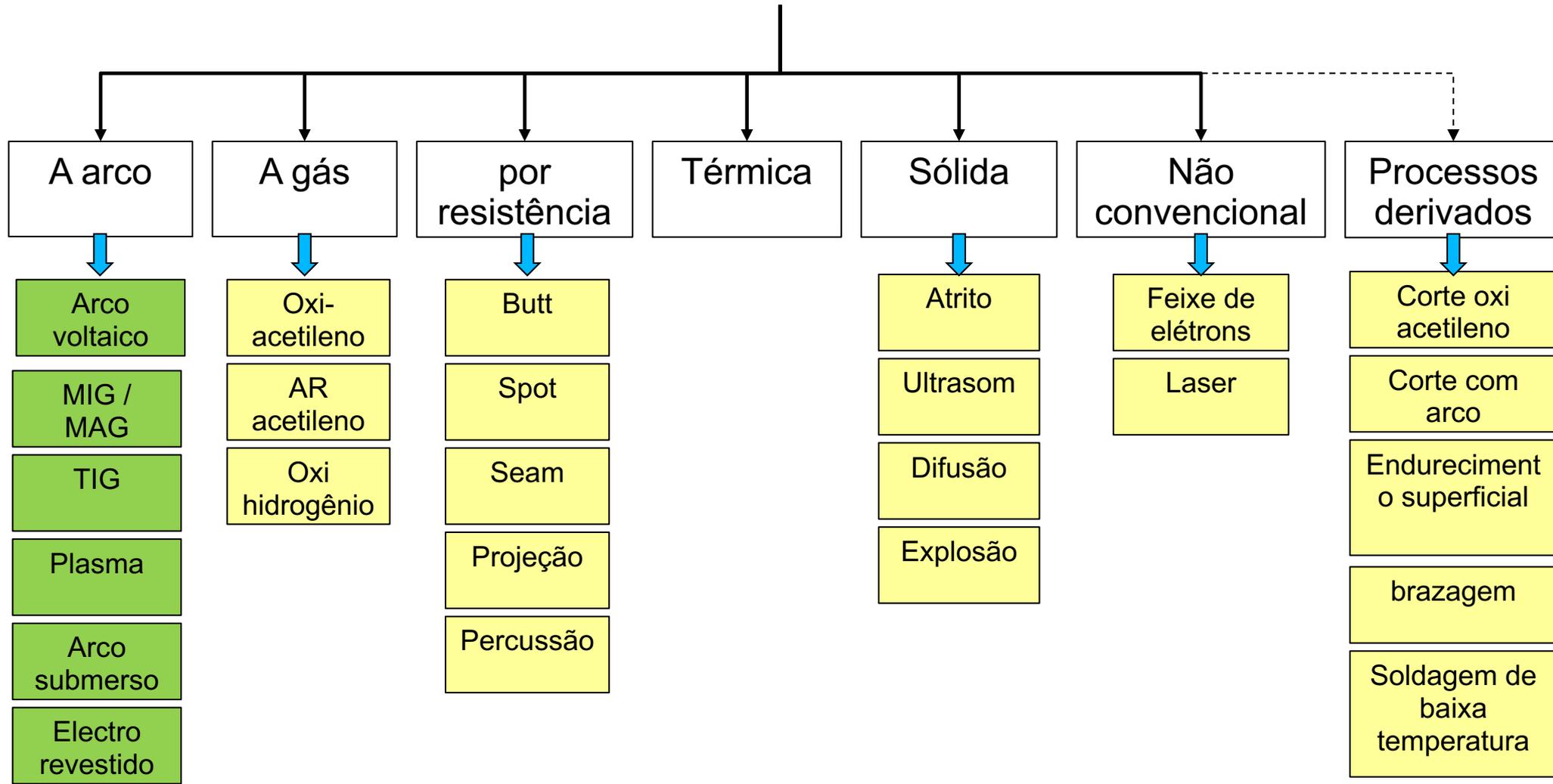


Soldagem a arco voltaico

- ▶ Introdução
- ▶ Arco voltaico
- ▶ Fontes de soldagem
- ▶ Processo eletrodo revestido
- ▶ Processo Eletrodo tubular
- ▶ Processo Arco submerso
- ▶ Processos MIG/MAG
- ▶ Processo TIG

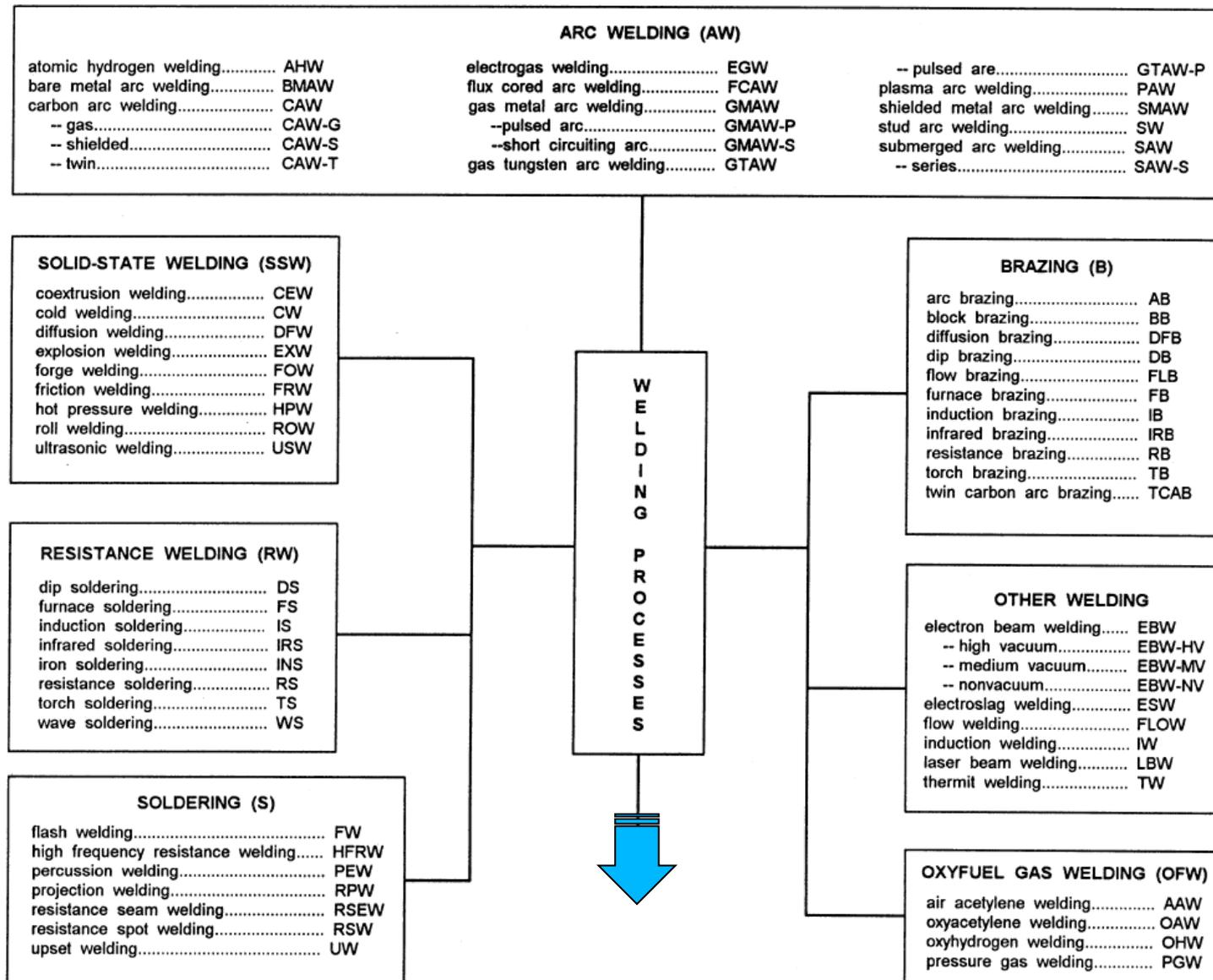


Classificação dos processos de soldagem





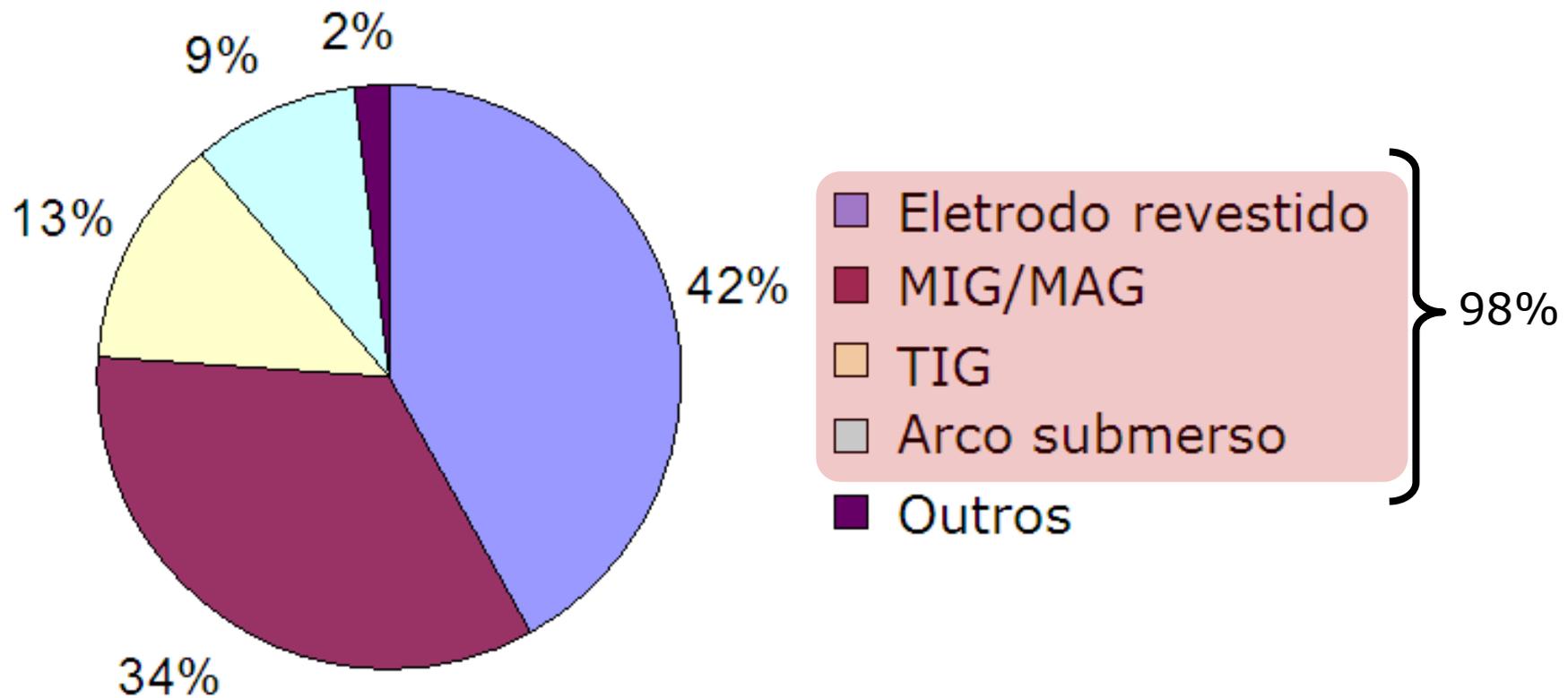
Classificação dos processos de soldagem





Soldagem

► Principais processos de soldagem





Arco elétrico

- ▶ O arco é uma descarga elétrica entre dois eletrodos
- ▶ Para propósitos práticos o arco elétrico deve ser tratado como um condutor gasoso, com uma impedância própria, o qual converte energia elétrica em calor
- ▶ O intensidade de calor do arco pode ser controlada através dos parâmetros elétricos (V e I)
- ▶ No processo de soldagem a arco, atua também no sentido de remover (ou quebrar) a camada de óxido superficial
- ▶ O arco atua também no sentido de controlar a transferência de material



Arco elétrico

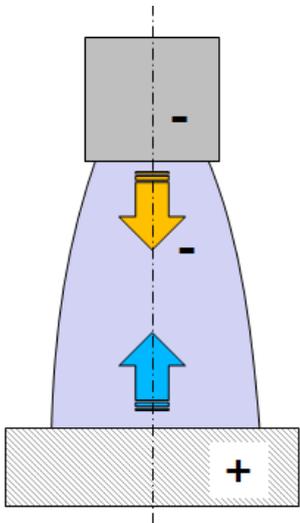
- ▶ O arco pode ser classificado como:
 - **Contínuo estacionário** – descarga elétrica entre dois eletrodos
 - **Descontínuo** – o arco é interrompido de virtude de curto circuito (CC) durante a transferência de material
 - **Contínuo não estacionário** – ocorre em virtude da alternância da direção do fluxo de corrente
 - **Pulsado** – interrupção causada pela imposição de corrente pulada para a obtenção d transferência por spray



Arco elétrico

► Formação

- Tudo se inicia com o estabelecimento de fluxo de gás entre a peça e eletrodo.
- Um sinal de entrada é fornecido por uma fonte de alta frequência, o qual estabelece uma diferença de potencial entre a peça e o eletrodo
- A energia transferida pela alta frequência torna gás ionizado, e por consequência condutor de eletricidade
- A partir de um certo ponto a constante dielétrica do gás ionizado é rompida e se estabelece formação do arco

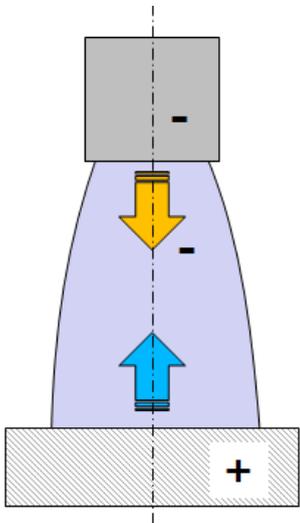




Arco elétrico

► Formação

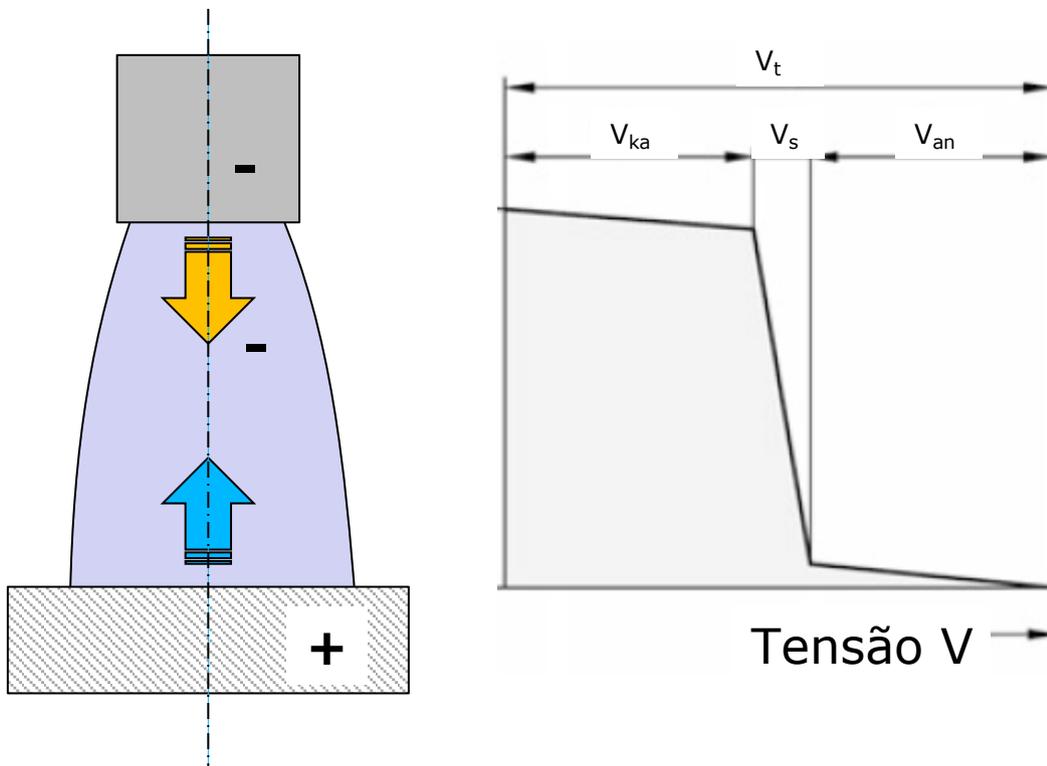
- A potência deve ser alta o suficiente para manter a temperatura do arco para permitir a passagem contínua de corrente
- A temperatura mantém a ionização do gás
- O arco elétrico tem duas funções principais
 - Fornecer calor para o processo de fusão do materiais
 - Servir de meio de transporte para o metal fundido para a poça de fusão
- A transferência varai de acordo com as forças eletromagnéticas e as tensões superficiais





Arco elétrico

► Distribuição de tensão no arco



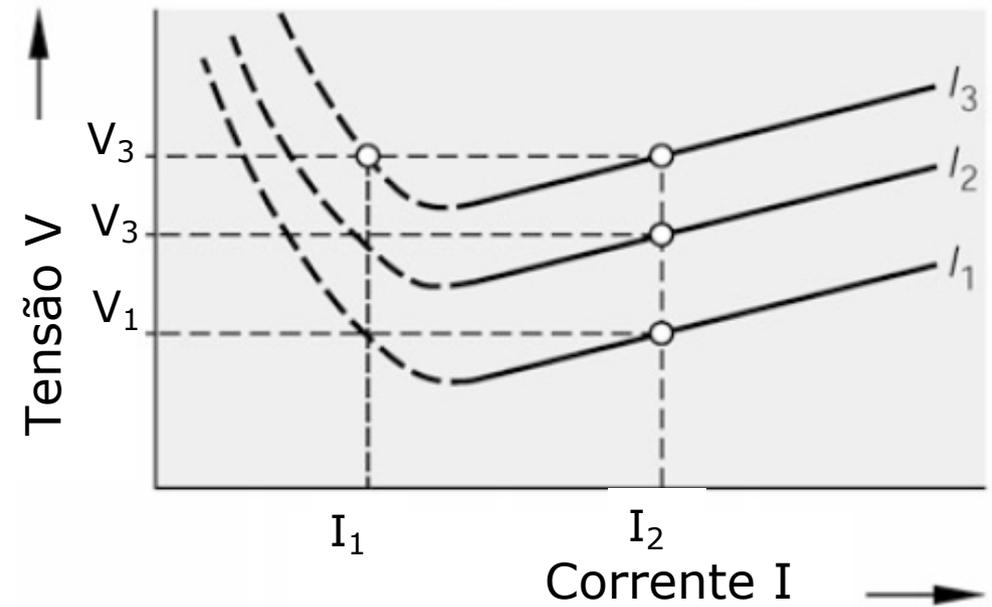
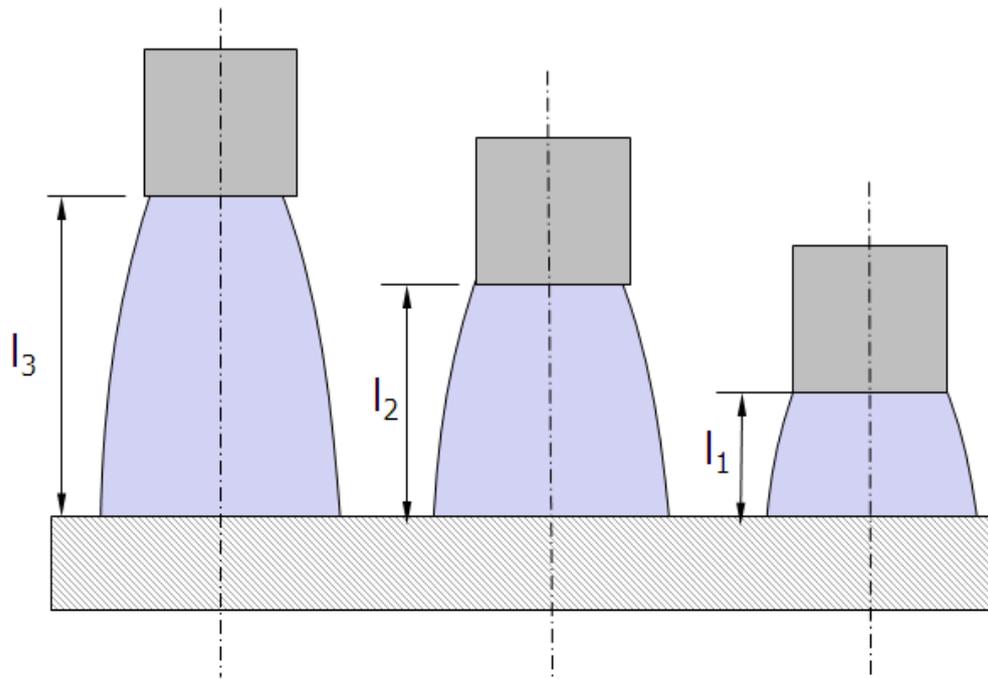
Onde:

- V_{ka} - Tensão no catodo
- V_{an} - Tensão no anodo
- V_s - Tensão no arco
- V_t - Tensão total



Arco elétrico

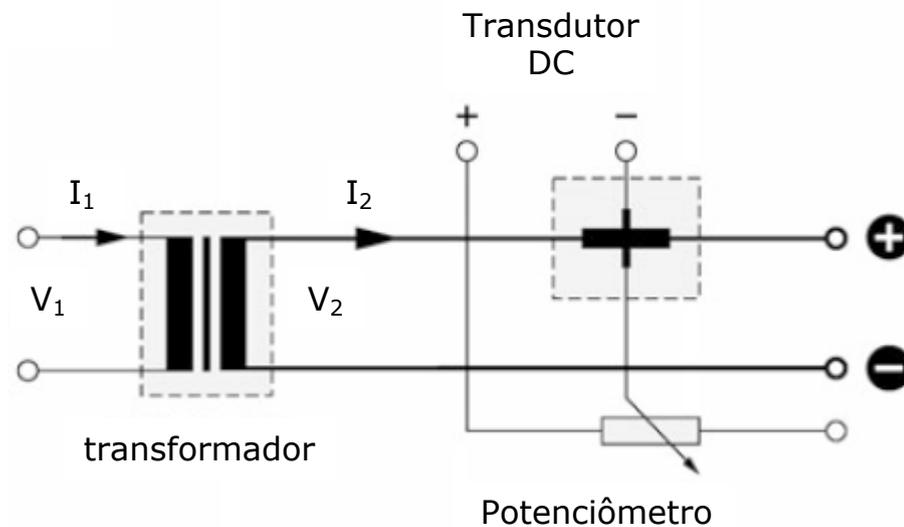
- Distribuição de tensão no arco





Arco elétrico

- ▶ Fonte de soldagem
- ▶ Podem ser tensão constante ou corrente constante
- ▶ Transformador de soldagem com regulagem infinita por meio de transdutor

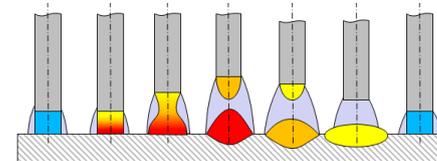




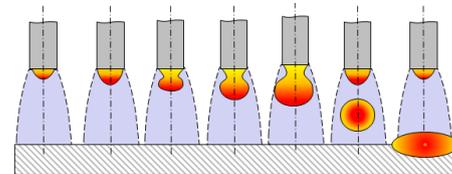
Arco elétrico

- ▶ Transferência de material
 - ▶ A transferência de material está relacionada com a forma de como o metal fundido do eletrodo atravessa o arco para formar a poça de soldagem.
 - ▶ Existem três formas básicas de transferência

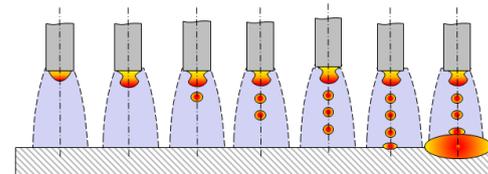
- ▶ Por curto circuito,



- ▶ Por glóbulos ou gotas,



- ▶ Por spray





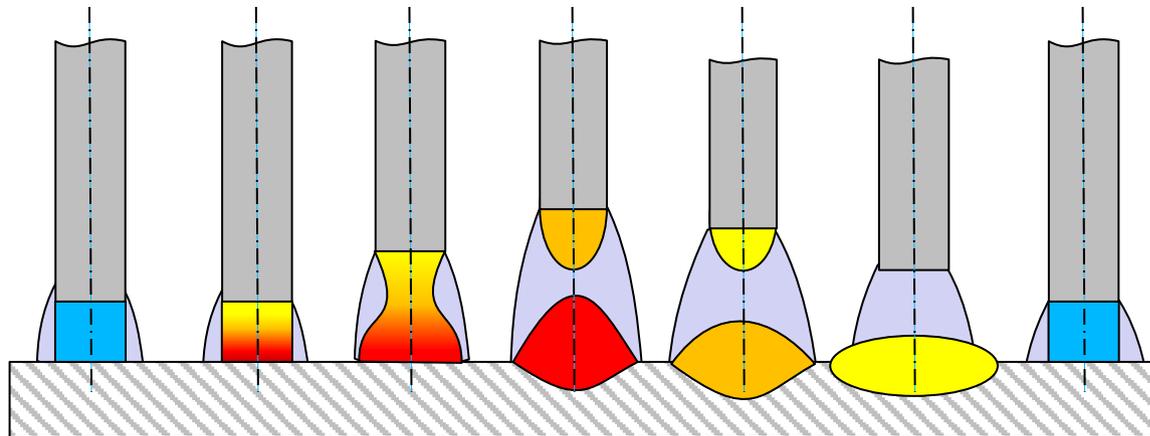
Arco elétrico

- ▶ A transferência de material por curto circuito
- Esta ocorre quando o arame de soldagem (material de adição) está se movendo no sentido da poça de soldagem, ocasionando o contato. Neste ponto fecha-se o curto circuito, o qual causa uma 'retração' do arame gerando um novo arco. Este ciclo torna-se repetitivo com uma frequência que depende dos parâmetros da corrente /tensão estabelecidos.
- O método de curto circuito pode ser utilizado em todas as posições de soldagem , e é geralmente empregado na soldagem de aços. E CO_2 e CO_2+Ar são utilizados como gás de proteção.



Arco elétrico

- ▶ A transferência de material por curto circuito





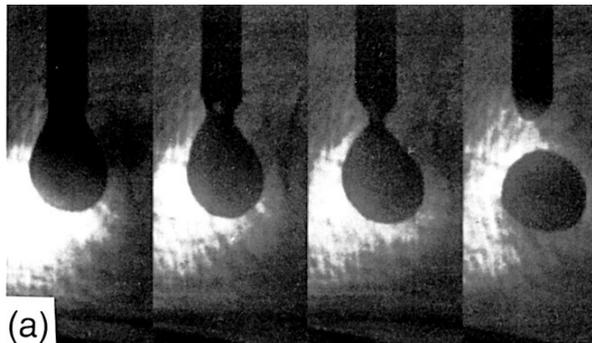
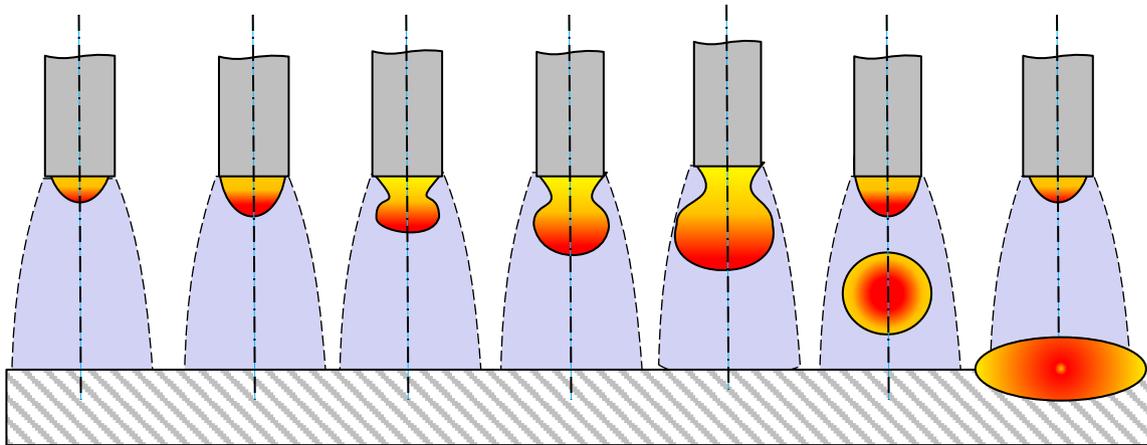
Arco elétrico

- ▶ Transferência de material por glóbulos ou gotas
- ▶ A transferência de material por gotejamento é similar a por curto circuito. Nesta uma gota é formada na ponta do eletrodo/arame, e continua a crescer até o ponto onde se torna maior do que o diâmetro do eletrodo. Nesta condição a gota se solta do eletrodo e percorre o arco para se depositar sobre a poça de soldagem. Devido a isto o arco é mais instável e a transferência ocorre em intervalos maiores
- ▶ Este processo é utilizado nos mesmos materiais do que a transferência por curto circuito, exceto para peças de grande espessura. Esta se limita a posição de soldagem horizontal
- ▶ e CO_2 é comumente utilizado como gás de proteção



Arco elétrico

- ▶ Transferência de material por glóbulos ou gotas



(a)



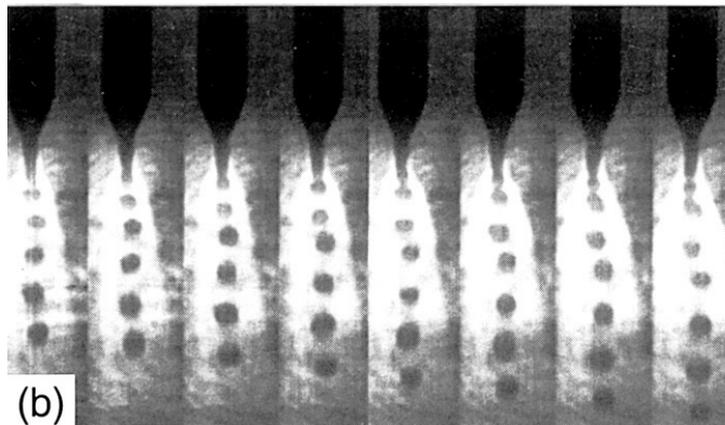
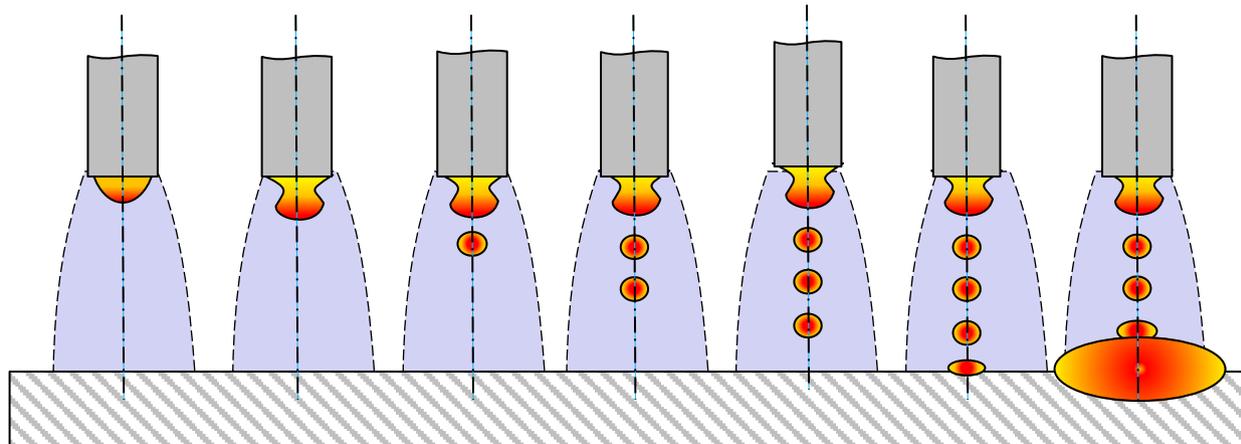
Arco elétrico

- ▶ Transferência de material c
- Esta é caracterizada por apresentar pequenas gotas que percorrem o arco. Essas gotas se forma na ponta do eletrodo e são extraídas pela ação das forças magnéticas.
- Argônio e misturas de Ar + He são utilizados como gases de proteção.
- A transferência por spray pode ser empregada na soldagem de aços, e sua principal vantagem está possibilidade de soldar chapas espessas.
- E mais recomendada para soldagem plana horizontal



Arco elétrico

- ▶ Transferência de material por spray





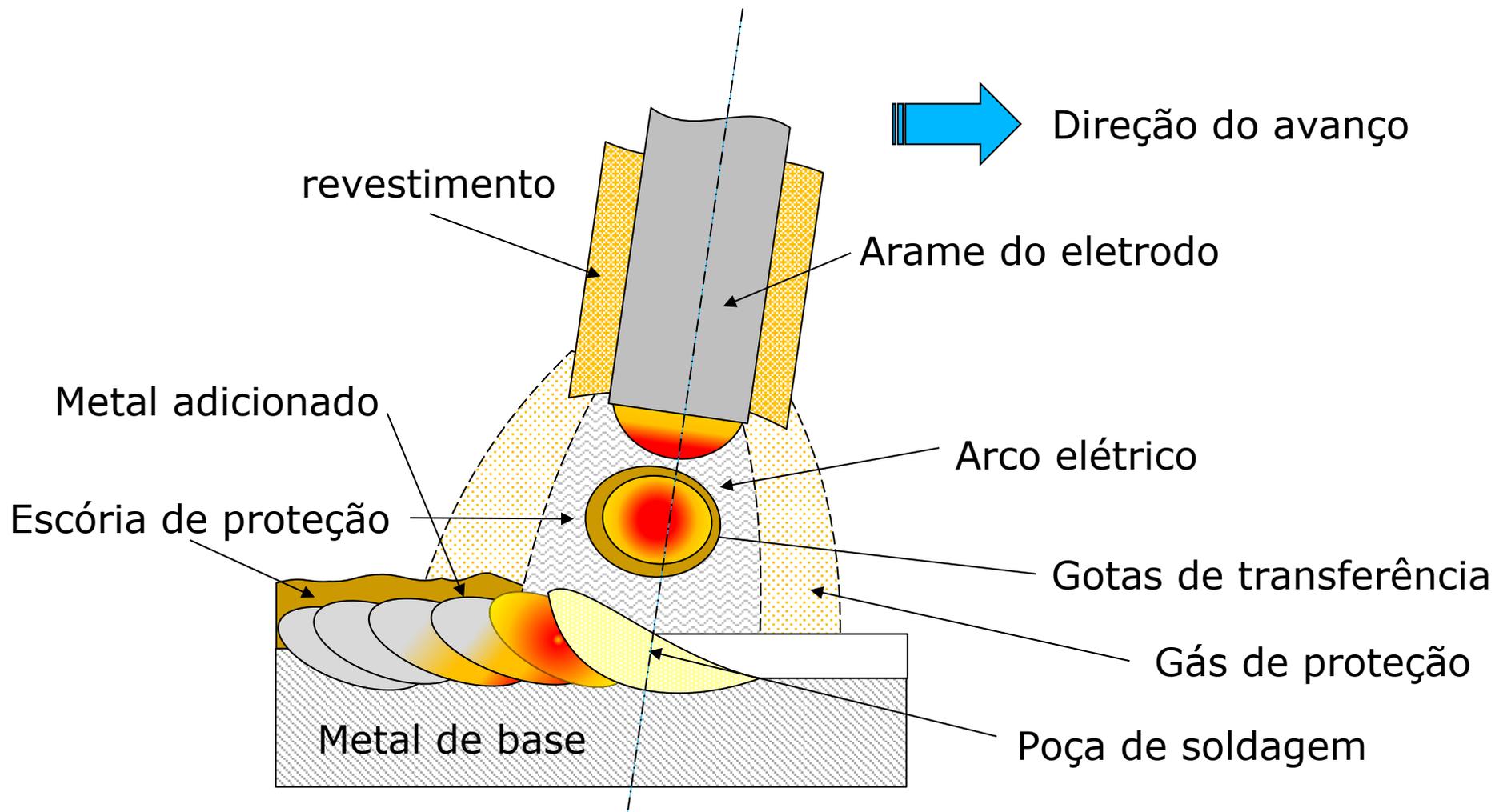
Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ Eletrodo revestido ou ***Shielded metal arc welding - SMAW***
- ▶ É um dos processos de soldagem arco mais utilizados
- ▶ O arco é aberto com o contato do eletrodo com a peça
- ▶ O transferência de material é por gotejamento
- ▶ Após iniciado o arco se move junto com o eletrodo





Soldagem por eletrodo revestido





Soldagem por eletrodo revestido

► Vantagens

- Equipamento simples, portátil e barato
- Baixo custo
- Pode se realizada indoor ou ao ar livre
- Pode ser feita em qualquer posição
- Grande variedade de eletrodos, capaz de cobrir quase todo o espectro de metais metálicos
- Pouco sensível a variações geométricas das peças, sujeira, variações na folga, entre outras
- Pouco sensível ao meio ambiente (ex.: ventos)
- Adaptável a espaços pequenos



Soldagem por eletrodo revestido

► Desvantagens

- Não recomendado para soldagem de materiais de baixo ponto de fusão, ex.: Alumínio (temperatura do arco muito elevada)
- Não recomendado para materiais reativos, ex.: Ti
- Baixa taxa de deposição
- Deposição deficiente
- Baixa produtividade -> trocas constantes de eletrodo
- Tamanho do eletrodo
- Forte dependência da habilidade do operador
- Automatização limitada



Soldagem por eletrodo revestido

► Desvantagens

- Necessidade de remoção da escória protetora
- Descontinuidades associadas a operação manual
- Inclusão de escória no cordão de solda
- Porosidade no cordão de solda
- Inclusão de hidrogênio -> falha catastrófica
- Perda de material



Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ Eletrodo revestido

Classificação dos eletrodos

Ex. **E7018**

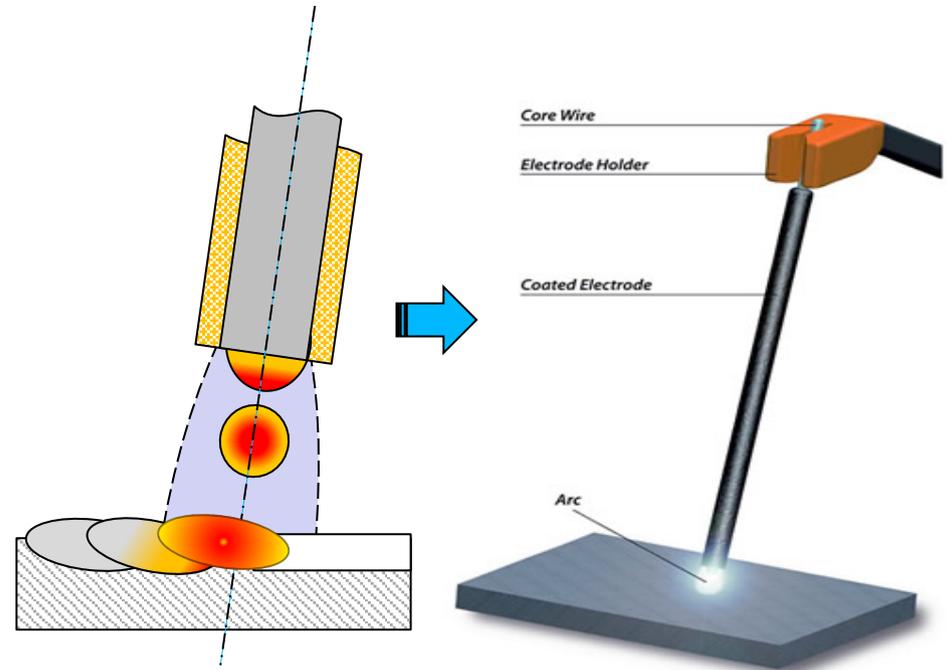
E7018-A1-H8R

8 - baixo hidrogênio

1 - posição de soldagem (1-> todas as posições)

70 - resistência a tração (70.000psi)

E - eletrodo



AWS Website:

<http://www.aws.org>



Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ Eletrodo revestido – classificação segundo a DIN EN ISO 2560
- ▶ E – Eletrodo
- ▶ Resistência a tração e alongamento

	N/mm ²	N/mm ²	%
35	355	440 bis 570	22
38	380	470 bis 600	20
42	420	500 bis 640	20
46	460	530 bis 680	20
50	500	560 bis 720	18

- ▶ Resistência ao impacto

Z	Keine Anforderungen
A	+ 20
0	± 0
2	- 20
3	- 30
4	- 40
5	- 50
6	- 60



Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ Eletrodo revestido – classificação segundo a DIN EN ISO 2560
- ▶ Composição do metal de adição

	Mn	Mo	Ni
Kein	2,0	–	–
Mo	1,4	0,3 bis 0,6	–
MnMo	> 1,4 bis 1,6	0,3 bis 0,6	–
1Ni	1,4	–	0,6 bis 1,2
2Ni	1,4	–	1,8 bis 2,6
3Ni	1,4	–	2,6 bis 3,8
Mn1Ni	> 1,4 bis 2,0	–	0,6 bis 1,2
1NiMo	1,4	0,3 bis 0,6	0,6 bis 1,2
Z	Jede andere vereinbarte Zusammensetzung		

- ▶ Corrente de soldagem

- ▶ Tipo de revestimento

- A = azedo revestido,
- C = celulósico,
- R = rutilo
- RR = rutilo espesso
- RA = rutilo azedo
- RB = rutilo básico,
- RC = rutilo celulósico
- B = básico



Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ Eletrodo revestido – classificação segundo a DIN EN ISO 2560
- ▶ Posição de soldagem
 - 1: todas as posições
 - 2: todas as posições, exceto sobre cabeça
 - 3: costura de raiz, sobre cabeça; solda de filete, vertical, horizontal
 - 4: preenchimento
 - 5: preenchimento horizontal



Soldagem por eletrodo revestido

► Revestimentos

- Estabilizador do arco TiO_2
- Formadores de gás: serragem, CaCO_3
- Formadores de escória protetiva: Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Fe_3O_4
- Agentes extrusores: Gesso, Talco, glicerina
- Ligantes: silicato de sódio, ~~Asbesto~~, açúcar, alcatrão, pixe
- Desoxidantes: Si, Al, Ti, Mn, Ni, Cr



Soldagem por eletrodo revestido

► Revestimentos

Table 8.4 – Typical Covering Formulas for Steel SMAW Electrodes

	E6010 High cellulose, sodium, gas shielded	E6012 High titania, sodium, gas-slag shielded	E6020 High iron oxide, slag shielded	E7015 Low hydrogen, sodium, gas-slag shielded	E7018 Low hydrogen potassium, gas-slag shielded, iron powder
Part I – Material Formulas (Parts by Weight)					
Cellulose	25	5			
Limestone				40	30
Fluorspar				15	10
Rutile		55	20		
Titania	12				
Asbestos	15	10	15	10	8
Iron oxide		1	30		
Clay		10	5	5	2
Iron powder					35
Ferrosilicon	2	2	2	5	5
Ferromanganese	4	4	6	4	4
Sodium silicate	60	40	70	25	
Potassium silicate					25
Part II – Chemical Composition (Percent After Baking)					
CaO				25.5	14.4
TiO ₂	10.1	46.0	15.4		
CaF ₂				15.2	11.0
SiO ₂	47.0	23.6	40.0	20.0	20.5
Al ₂ O ₃		5.0	2.3	2.8	2.0
MgO	3.2	2.0	2.8	1.2	2.0
Na ₃ AlF ₃				5.7	5.0
FeO	1.3	7.0	30.7		
Na ₂ O	5.1	2.4	3.3	1.7	
K ₂ O					1.2
Si	1.5	1.5	1.0	2.8	2.5
Mn	2.8	2.5	4.0	2.0	1.8
Fe				2.8	28.5
CO and CO ₂				20.2	12.0
Volatile Matter	25.0	5.0			
Moisture	4.0	2.0	0.5	0.1	0.1



Soldagem por eletrodo revestido

► Normas

- **ANSI/AWS - 5.1 : Specification for Covered Carbon Steel**
- **ANSI/AWS - 5.5 : Specification for Low Alloy Steel**
- **ANSI/AWS - 5.4 : Specification for Corrosion Resistant Steel**



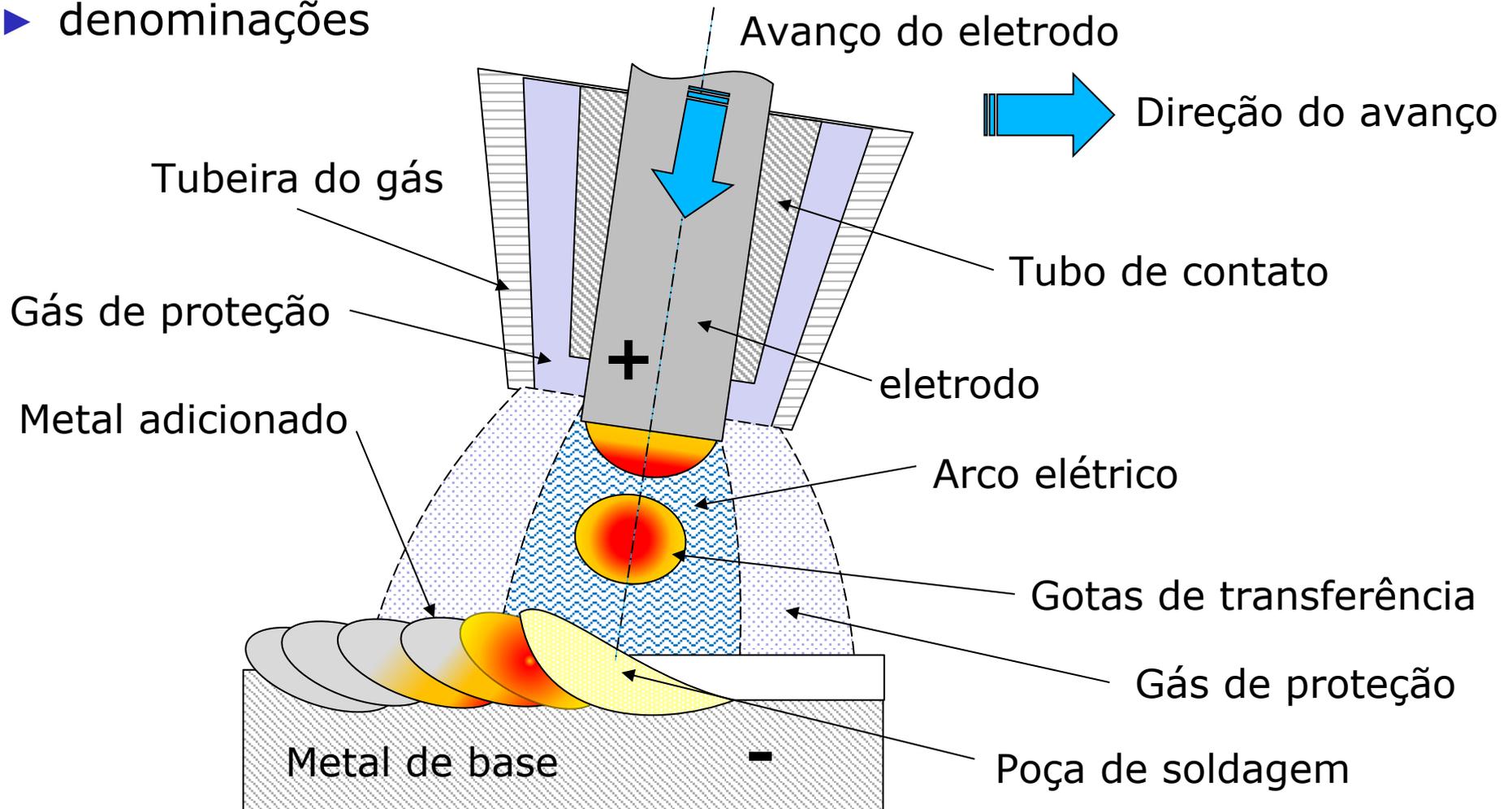
Soldagem MIG/MAG

- ▶ Soldagem MIG/MAG - ***Gas–metal arc welding (GMAW)***
- ▶ MIG – *Metal Inert Gas*
- ▶ MAG – *Metal Active Gas*
- ▶ Neste processo a proteção da poça de fusão não mais ocorre pela ação dos gases resultantes da queima do revestimento, como no processo de eletrodo revestido, mas ocorre diretamente para injeção de gás.
- ▶ Gás Inerte – Argônio, Hélio
- ▶ Gás Ativo – CO₂ ou mistura a base CO₂ de com gases inertes



Soldagem MIG/MAG

► denominações





Soldagem MIG/MAG

► Vantagens

- Alta taxa de deposição
- Baixo custo
- Todo material fundido do eletrodo é depositado na peça
- Não há necessidade de remoção da escória
- Pode ser utilizado em chapas finas
- Baixa contaminação por hidrogênio
- Alta produtividade
- Fácil de operar quando comparado com o ER
- Um único eletrodo (diâmetro) pode ser utilizado em várias espessuras
- Fácil automatização



Soldagem MIG/MAG

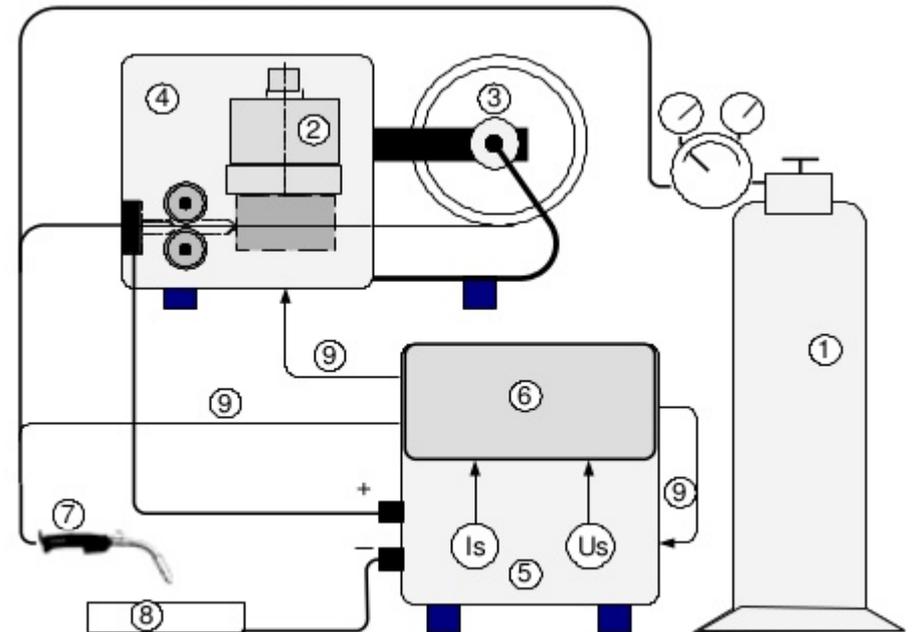
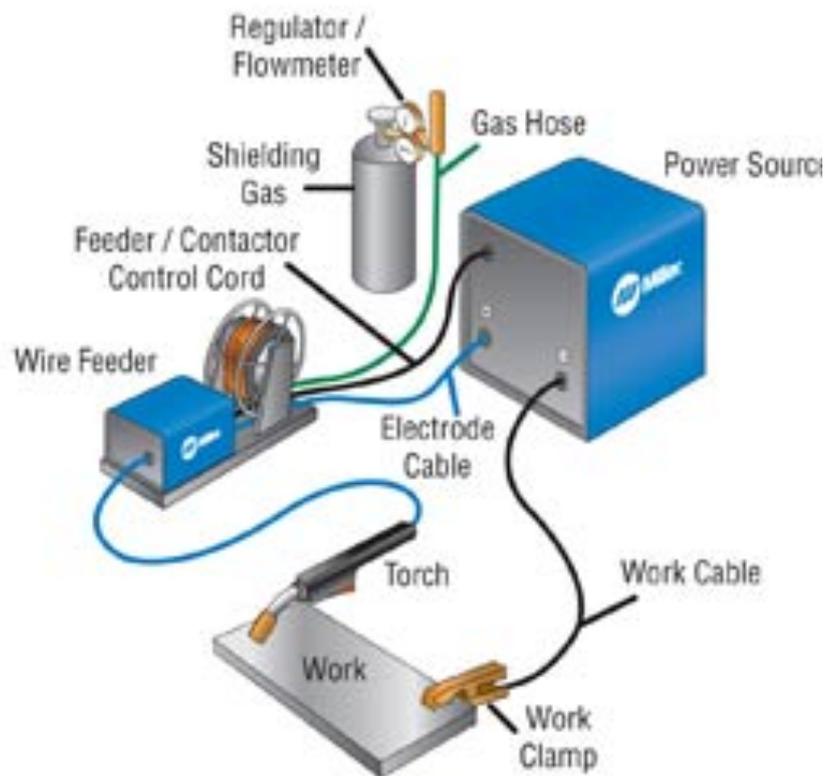
► Desvantagens

- Necessita de um sistema de alimentação (avanço) do eletrodo
- Difícil de ser realizado em campo com presença de vento
- Necessita de gás de proteção
- Difícil de operar em determinadas posição, cada posição tem parâmetros de soldagem diferentes
- Parâmetros errados facilitam a falta de penetração
- Difícil de ser executado em lugares com pouco espaço



Soldagem MIG/MAG

► equipamentos



- ① Shielding gas; ② DC motor & gear box; ③ electrode wire roll; ④ WFU; ⑤ PS-GMAW;
⑥ Control box; ⑦ Welding gun or welding torch; ⑧ workpiece; ⑨ control cable



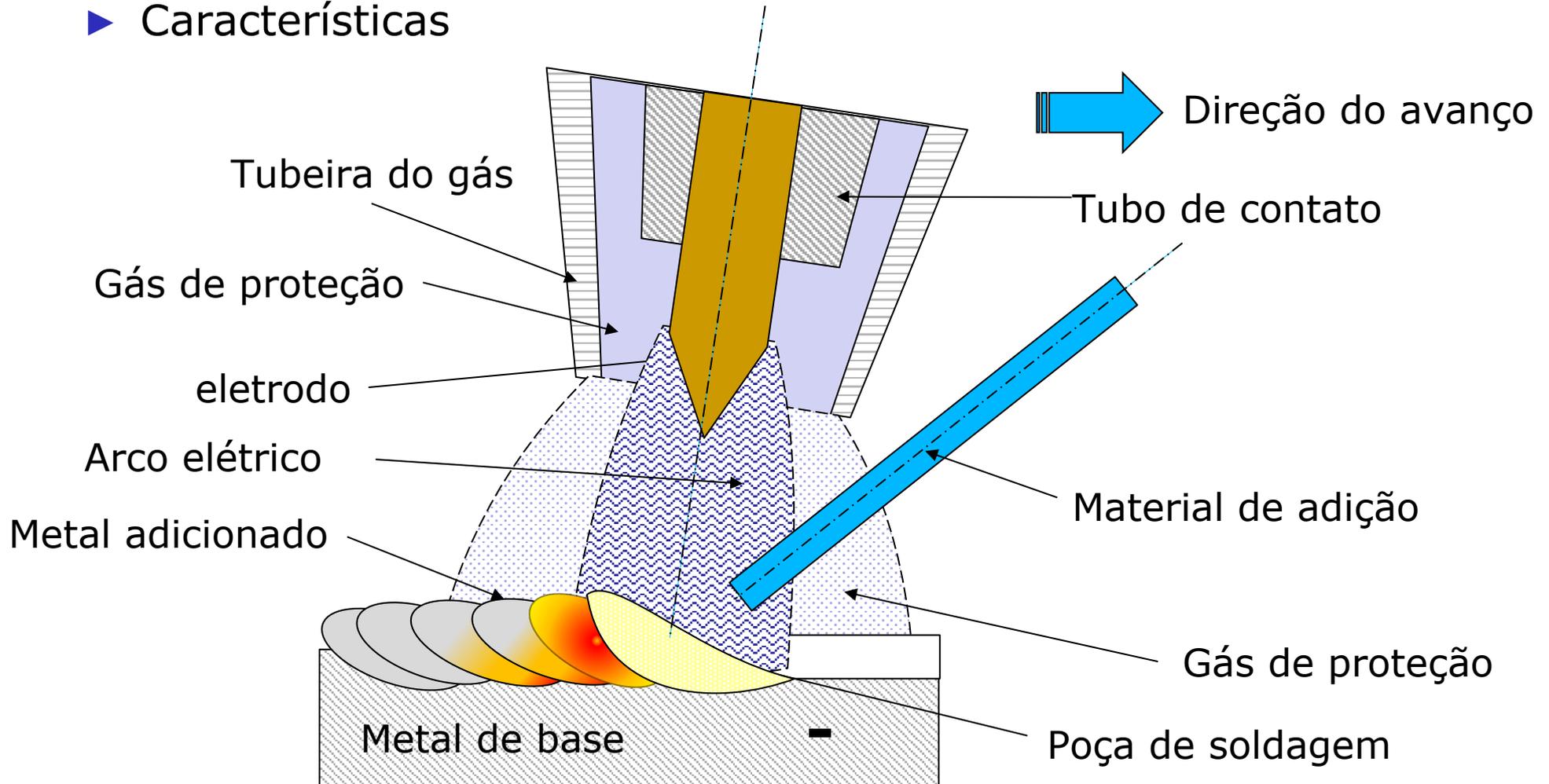
Soldagem TIG

- ▶ TIG - *Tungsten Inert Gas, Gas-tungsten arc welding (GTAW)*
- ▶ Ao contrário dos processos ER, MIG e MAG onde o arco se estabelece no eletrodo e este é consumido no processo, Na soldagem TIG o arco se estabelece entre a peça e um eletrodo de Tungstênio
- ▶ O processo TIG pode operar com ou sem material de adição
- ▶ O material de adição deve ser adicionado aparte



Soldagem TIG

► Características





Soldagem TIG

- ▶ Polaridade – Corrente contínua com eletrodo negativo, ***Direct-Current Electrode Negative (DCEN)***
 - ▶ Também chamada de polaridade direta
 - ▶ Polaridade mais comum em soldagem TIG
 - ▶ Os elétrons são emitidos do eletrodo de tungstênio e acelerados no percurso pelo arco, parte da energia é utilizada para esta aceleração, o que consome maior potência
 - ▶ Maior parte da energia, cerca de 2/3 se concentra no arco
 - ▶ Penetração estreita e profunda



Soldagem TIG

- ▶ Polaridade – Corrente contínua com eletrodo positivo, ***Direct-Current Electrode Positive (DCEP)***
 - ▶ Também chamada de polaridade reversa
 - ▶ Os elétrons são emitidos pela peça, contra o eletrodo
 - ▶ Arco mais largo e pouco profundo
 - ▶ Eletrodo deve ser refrigerado a água, para evitar a fusão
 - ▶ Esta polaridade permite quebrar filmes de óxidos superficiais



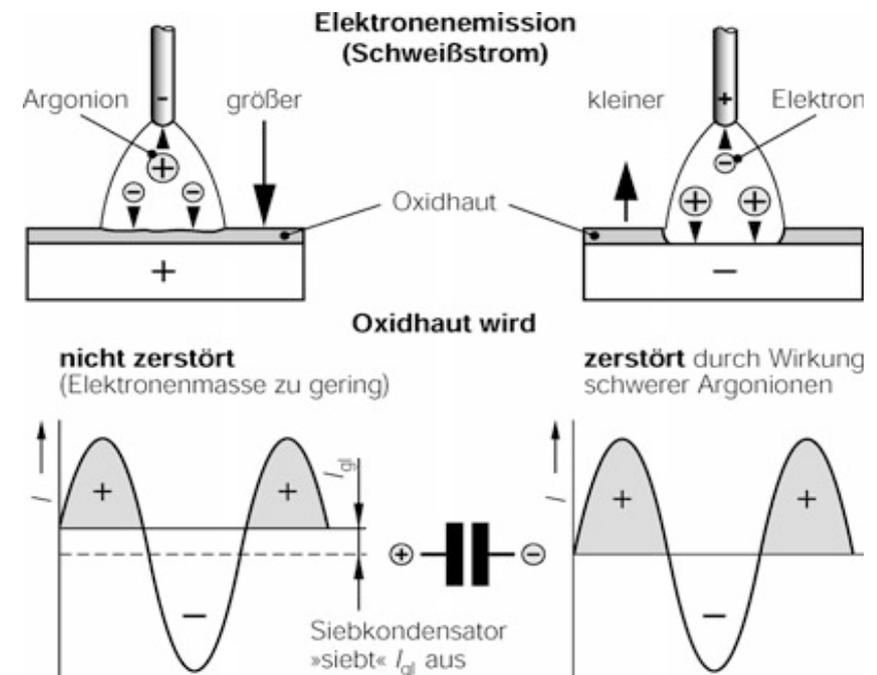
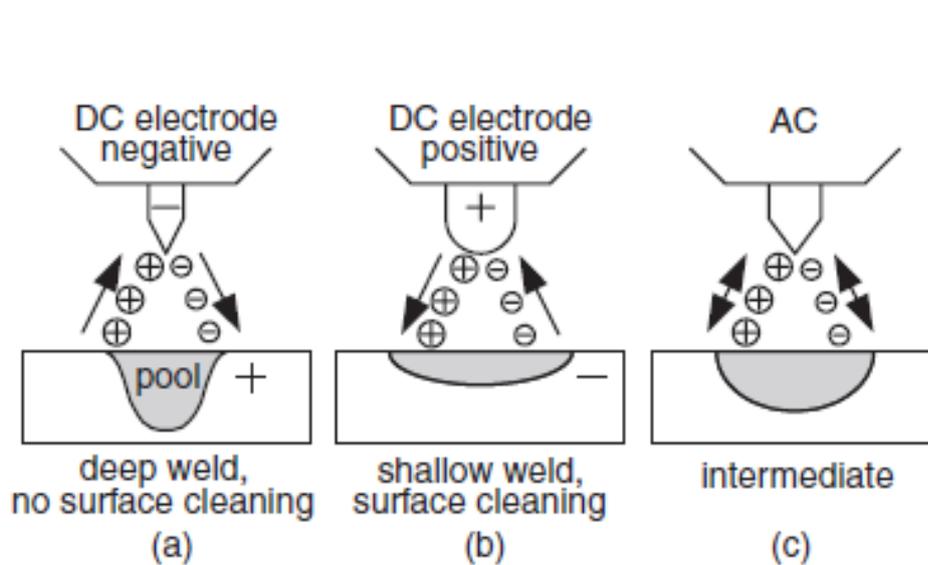
Soldagem TIG

- ▶ Soldagem TIG com corrente alternada –
 - ▶ O uso de CA promove a limpeza de camadas de óxido, na superfície da peça e do eletrodo
 - ▶ Valores de correntes intermediários
 - ▶ Calor balanceado entre o eletrodo e o arco
 - ▶ Arco intermediário em termos de profundidade e largura entre o CC+ e o CC-



Soldagem TIG

► Polaridades





Soldagem TIG

- ▶ Gases – Áreas de aplicação dos principais gases de proteção na soldagem TIG . Os valores entre parênteses correspondem às os nomes dos gases de acordo com DIN EN ISO 14175 (antigo: DIN EN 439)

gás de proteção	Ação química	Aplicação
Ar (I1) He (I2)	inerte	Al, Mg, Cu, Ti (com restrições)
Ar – He (I3)		Ligas Al, Mg, Cu, Ni
Ar – O ₂ (M13)	oxidante leve	Aços liga endurecidos
Ar – CO ₂ (M12, M21)	oxidante	Aços, aços inoxidáveis
Ar – CO ₂ – O ₂ (M14, M23, M24, M25, M33, M34, M35)		Aços alta liga e inoxidáveis
CO ₂ (C1)		Aços para alta temperatura



Soldagem TIG

► Vantagens

- Elevado controle da poça de fusão;
- Ótimo acabamento;
- Ótima qualidade das propriedades mecânicas;
- Não apresenta escória, respingos ou fumos de soldagem;
- Possibilidade de soldagem de chapas muito finas;
- Soldagem de inúmeras ligas metálicas (aço, níquel, inoxidáveis, titânio, alumínio, magnésio, cobre, bronze e até mesmo ouro);
- Processo que visa a estanqueidade;
- Em determinadas espessuras e preparações não necessita de material de adição.



Soldagem TIG

► Desvantagens

- Baixas taxas de deposição;
- Necessidade de maior coordenação e experiência do soldador no controle da poça de fusão;
- Dificuldade de manter proteção adequada em ambientes com vento
- Baixa tolerância a contaminantes.



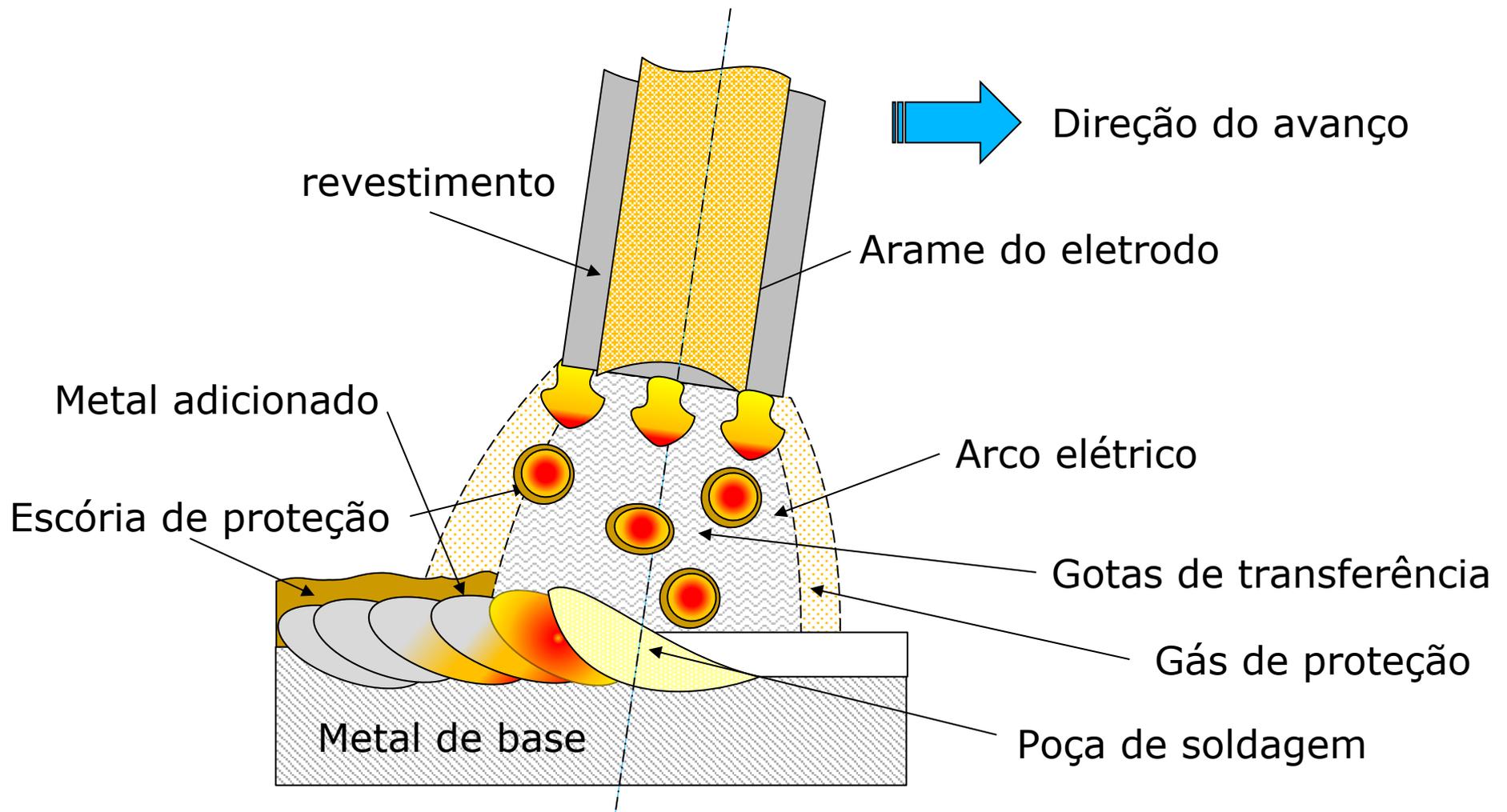
Soldagem Eletrodo tubular

- ▶ Soldagem por eletrodo tubular - ***Flux Core Arc Welding (FCAW)***
- ▶ Este processo pode ser caracterizado por ter um eletrodo onde o elemento para geração dos gases de proteção e fluxo estão dentro de um arame tubular. Em termos gerais o eletrodo é o inverso do eletrodo revestido.
- ▶ O eletrodo é contínuo (rolo)





Soldagem por Eletrodo tubular





Soldagem Eletrodo tubular

► Vantagens

- Alta taxa de deposição
- Alta densidade de energia
- Alta taxa de penetração
- Baixa quantidade de defeitos
- Proteção do material depositado (da mesma forma que na soldagem por ER)
- Opera em todas as posições
- Pode ser realizado em campo
- Eletrodos de pequeno diâmetro
- Pode ou não usar gás protetivo



Soldagem Eletrodo tubular

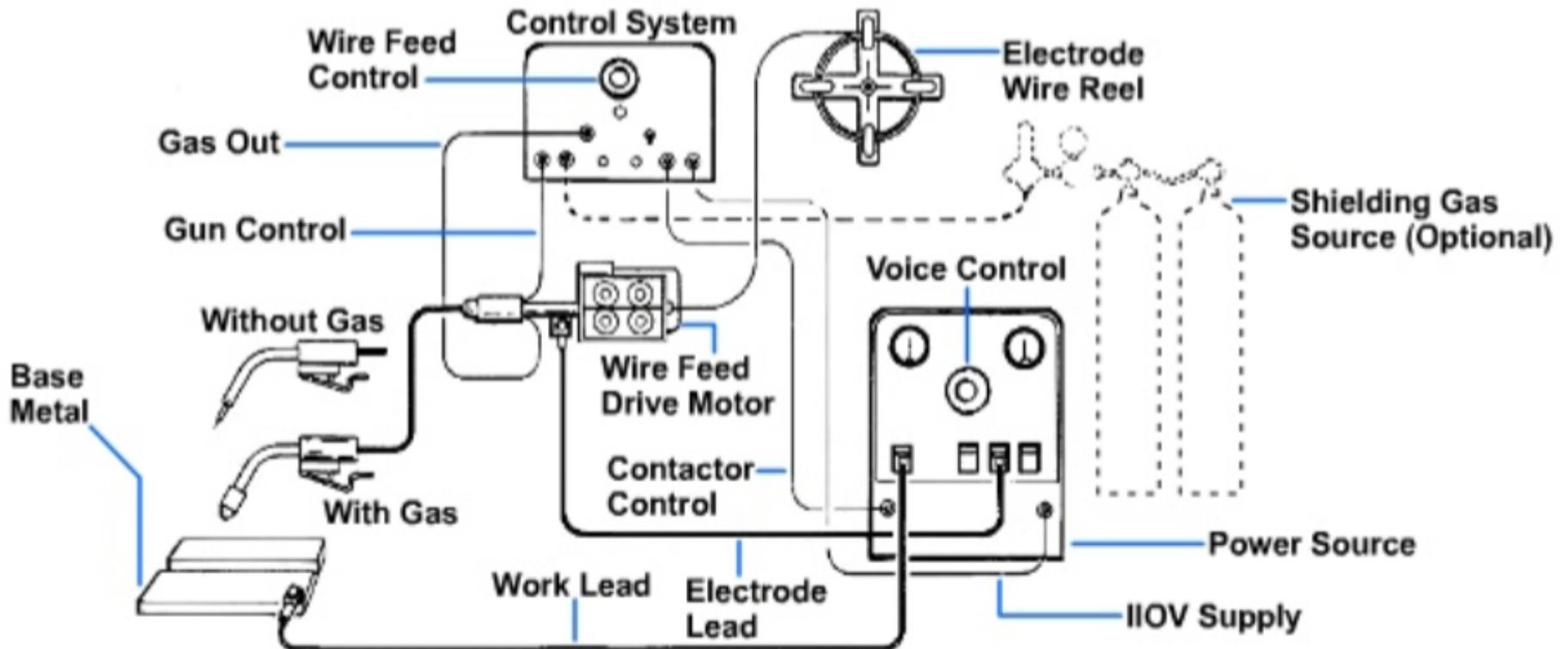
► Desvantagens

- Avanço do arame irregular
- Porosidade excessiva
- Custo do eletrodo é maior se comparado com o ER (GMAW)
- Necessidade de remoção da escória de proteção
- Operador de alta capacidade



Soldagem Eletrodo tubular

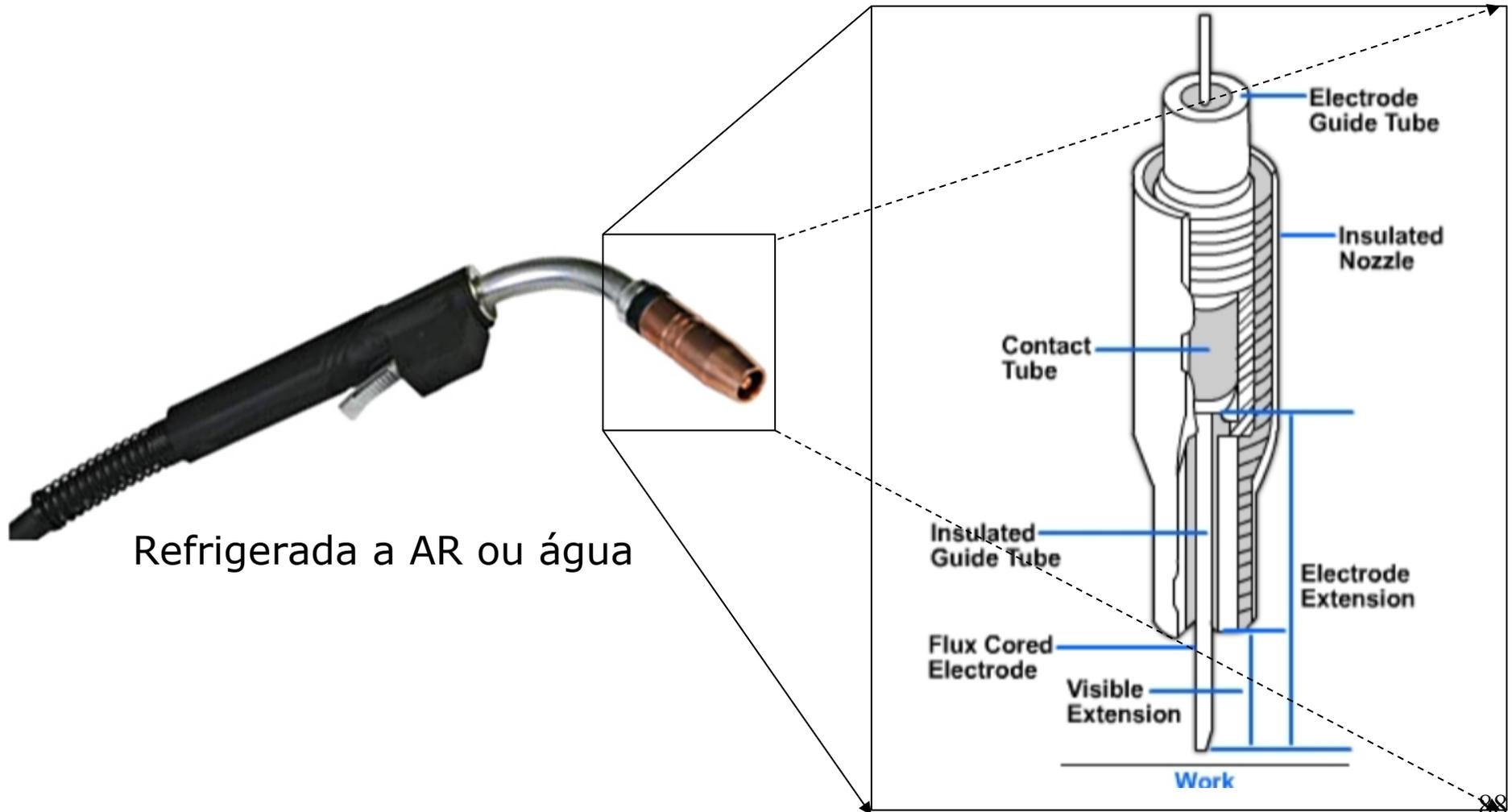
► Equipamentos





Soldagem Eletrodo tubular

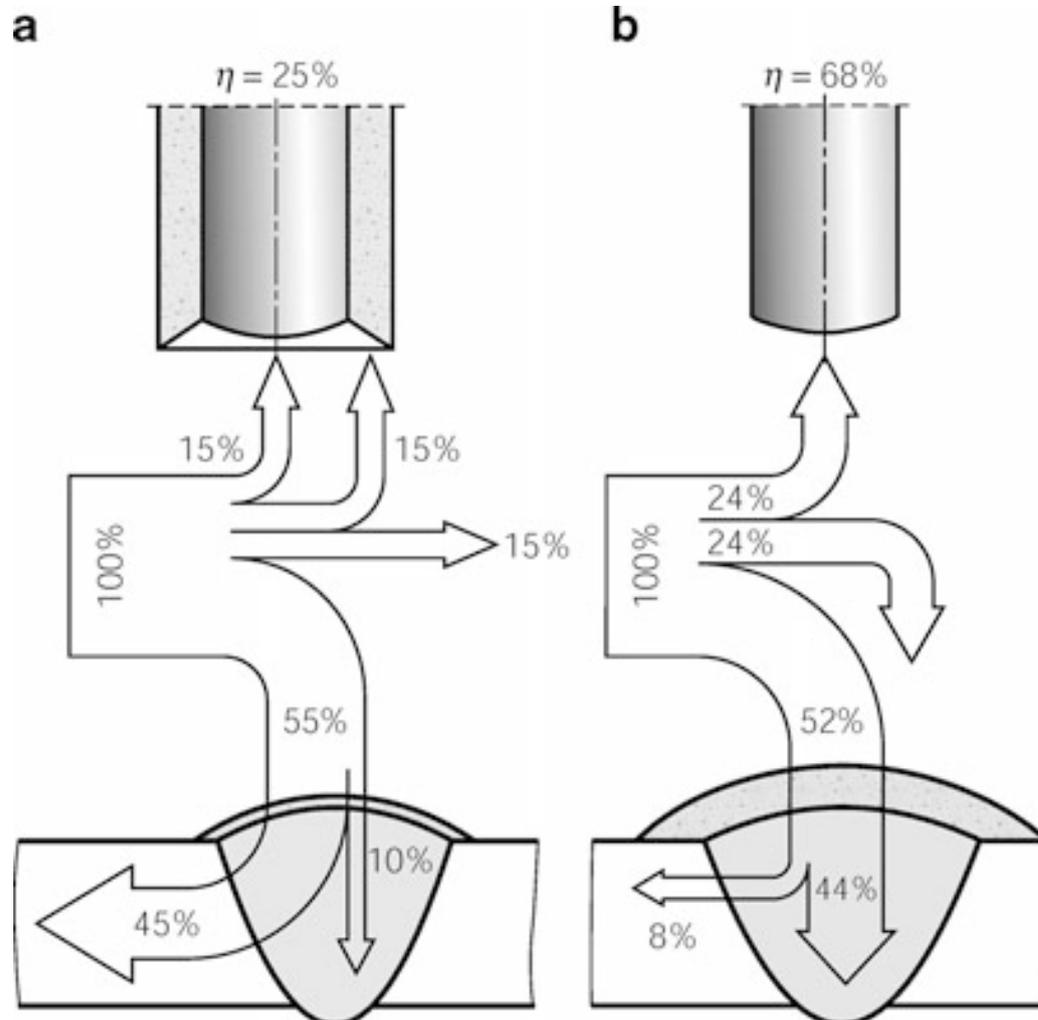
► Equipamentos





Soldagem Eletrodo tubular

- ▶ Comparação entre ER e ET





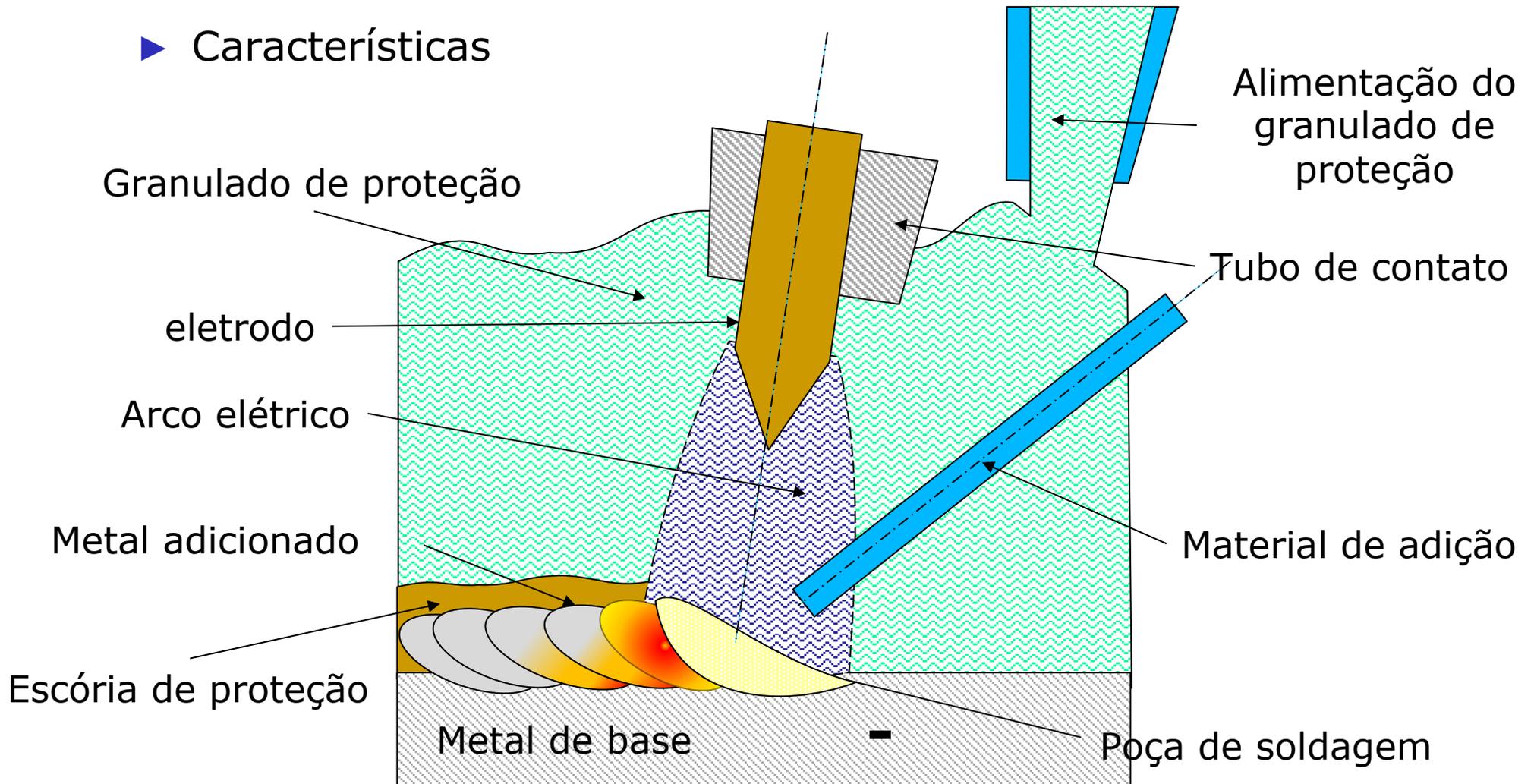
Soldagem Arco submerso

- ▶ Processo a arco submerso ou ***Submerged Arc Welding - SAW***
- ▶ Neste processo a proteção do arco, do material depositado e da poça de material fundido é realizado por material granulado, semelhante ao utilizado nos ER, o qual é depositado na forma de pó sob a junta soldada, com o arco se estabelecendo dentro desta cobertura



Soldagem Arco submerso

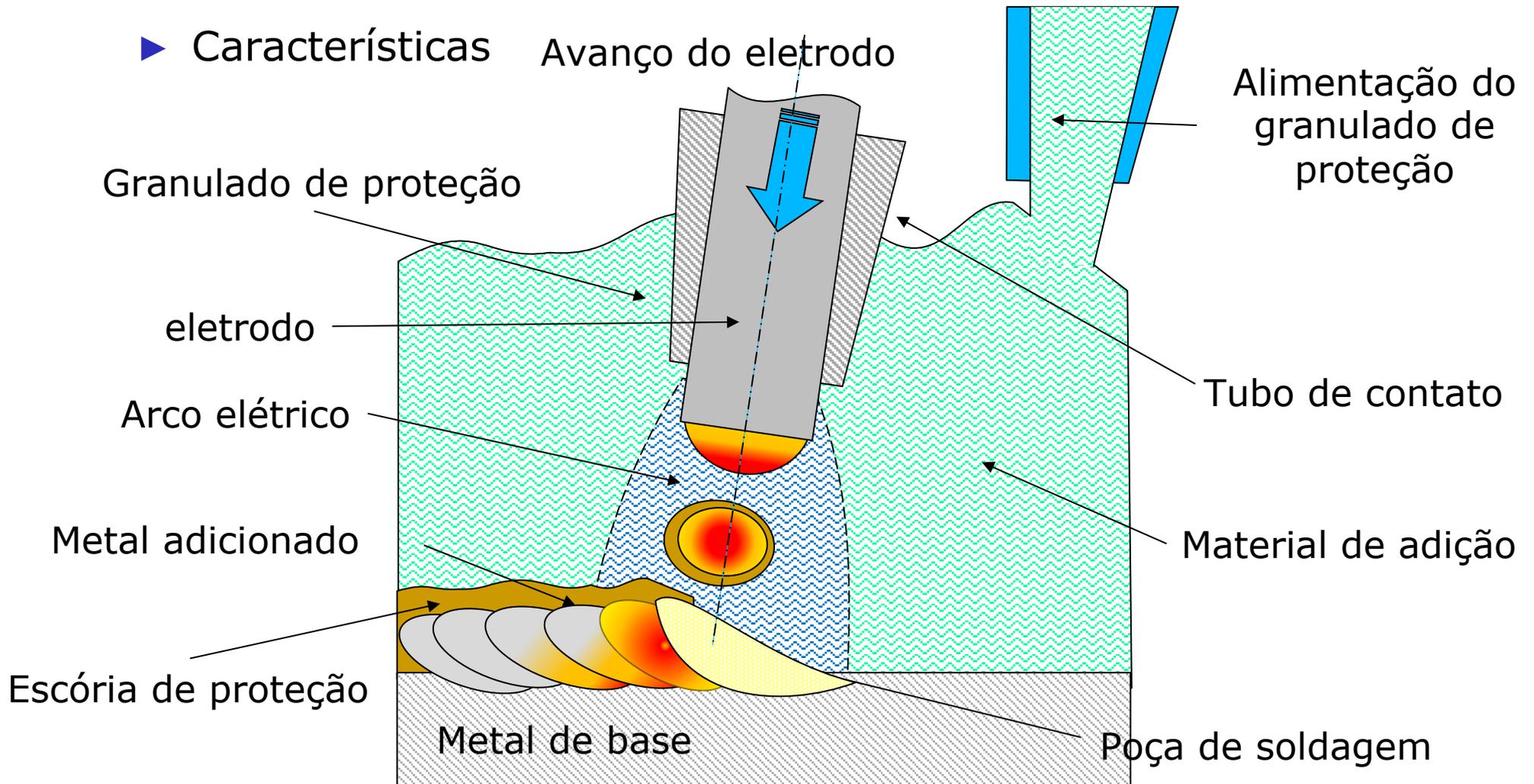
► Características





Soldagem Arco submerso

► Características





Soldagem Arco submerso

► Vantagens

- Alta produtividade
- Alta taxa de deposição
- Capacidade de soldagem contínua
- Alta penetração, soldagem de chapas espessas
- Cordões mais suaves
- Menor tensão residual
- Sem salpicos
- Menor geração de gases/fumos



Soldagem Arco submerso

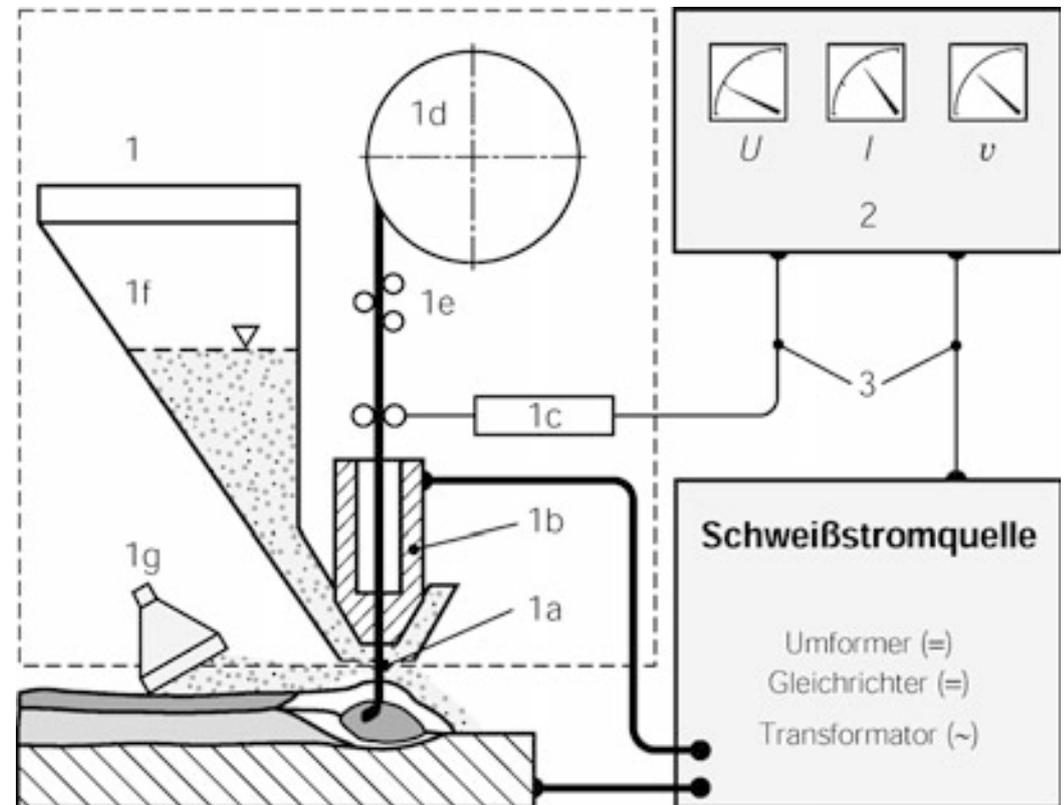
► Desvantagens

- Não permite acesso visual ao arco durante a soldagem
- Difícil de executar em posições que não a horizontal, o granulado escorre e expõe o processo
- Tendência do material fundido escorrer pela raiz em chapas finas
- Sempre necessitará e equipamentos automatizados (não é possível a soldagem manual)



Soldagem Arco submerso

► Equipamento

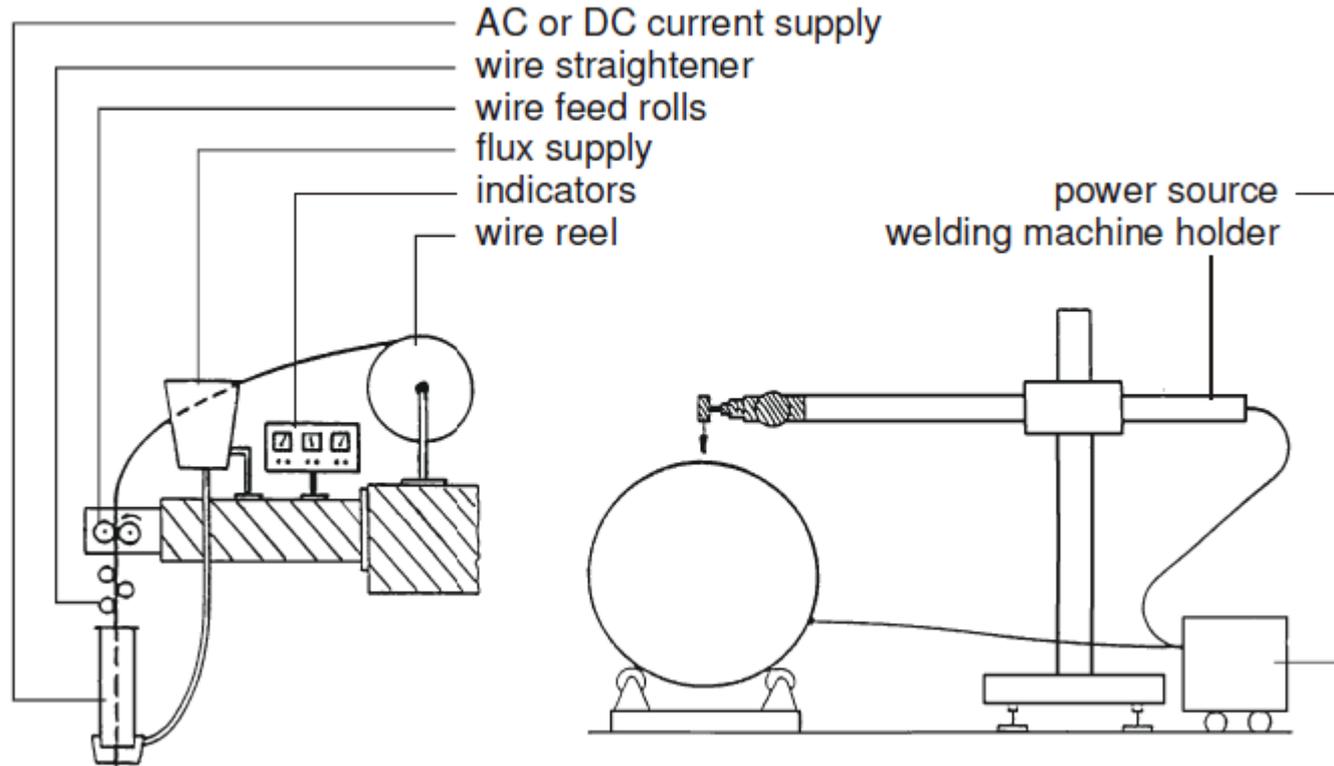


- | | | | |
|----|---------------------------------|----|-------------------------|
| 1 | Schweißkopf | 1e | Drahttrichtrollen |
| 1a | Drahtelektrode | 1f | Pulvertrichter |
| 1b | Schweißstromzuführung | 1g | Pulverabsaugvorrichtung |
| 1c | Antrieb für Drahtvorschubrollen | 2 | Steuereinheit |
| 1d | Drahtelektrode auf Rolle | 3 | Steuerleitung |



Soldagem Arco submerso

► Equipamento





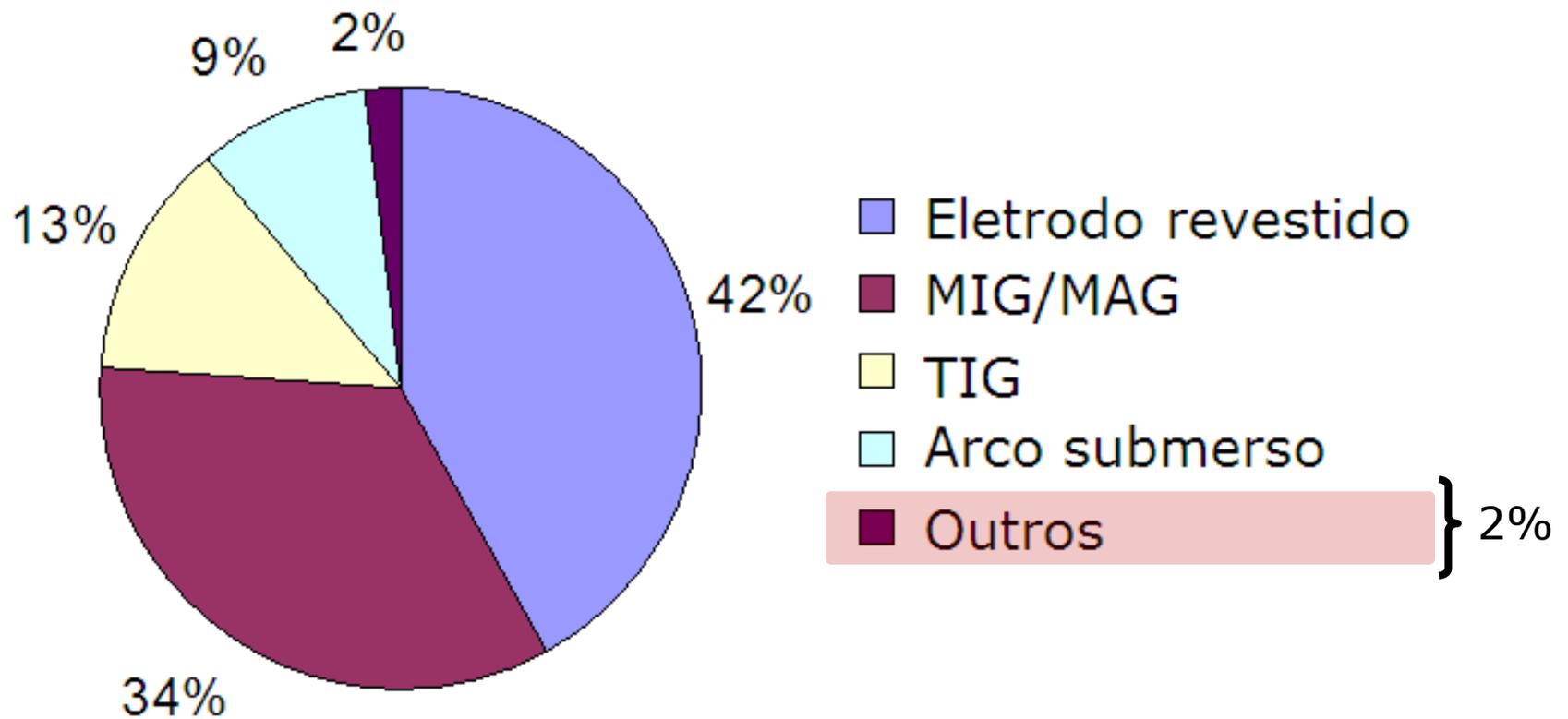
Processos especiais de soldagem

- ▶ Soldagem por plasma
- ▶ Soldagem por feixe de elétrons
- ▶ Soldagem por Laser
- ▶ Soldagem por resistência (solda ponto)
- ▶ Soldagem por atrito



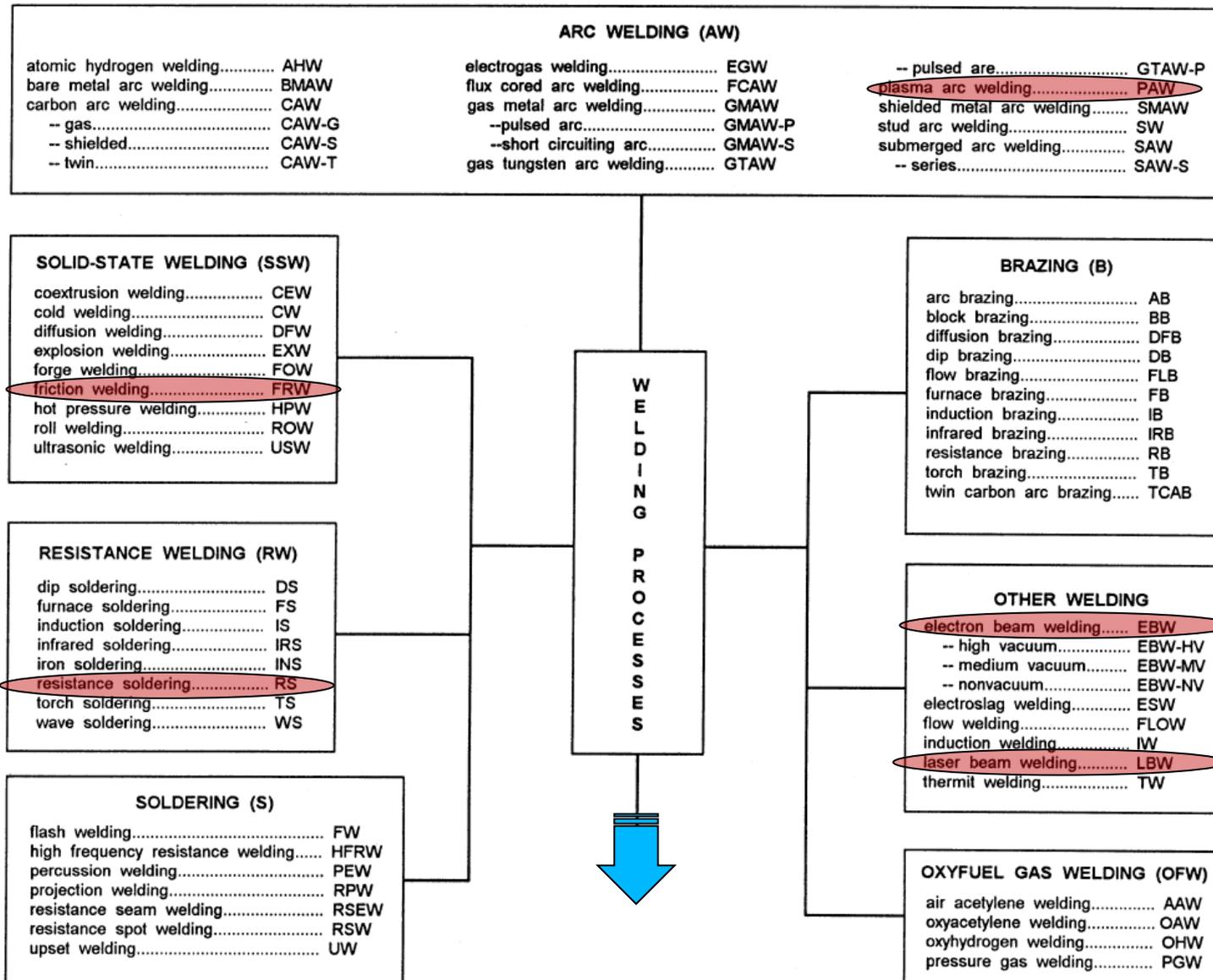
Soldagem

► Principais processos de soldagem





Classificação dos processos de soldagem





Soldagem por Plasma

- ▶ Soldagem por plasma ou *Plasma arc welding (PAW)*
- ▶ Processo de soldagem por plasma é caracterizado por utilizar um eletrodo de tungstênio não consumível .
- ▶ Apesar de semelhante a soldagem TIG este se diferencia por apresentar um restritor de fluxo de plasma na pistola de soldagem, que serve para aumentar a velocidade.
- ▶ O arco em si não é o suficiente para prover proteção a poça de fusão e do cordão de solda, sendo necessário a utilização de gás de proteção adicional
- ▶ O fluxo de gás de plasma é muito menor do que o gás de proteção para minimizar turbulência



Soldagem por Plasma

- ▶ Soldagem por plasma ou *Plasma arc welding (PAW)*
- ▶ Neste processo o arco é forçado por um pequeno difusor de cobre que estrangula o arco restringindo o fluxo de plasma, aumentando a velocidade de saída
- ▶ Apesar do eletrodo estar dentro do corpo da pistola de soldagem o arco de plasma pode ser separado do cone de gás de proteção.
- ▶ A restrição do arco leva a uma forma de coluna ao invés de cone como no TIG



Soldagem por Plasma

- ▶ Soldagem por plasma ou *Plasma arc welding (PAW)*
- ▶ O processo de soldagem por plasma permite um maior controle do arco de soldagem durante o processo com corrente menores.
- ▶ Este maior controle do arco permite maior precisão na soldagem além soldas de alta qualidade principalmente em sistemas miniaturizados, tais como instrumentos cirúrgicos, pás de turbinas aeronáuticas e equipamentos para a indústria alimentícia



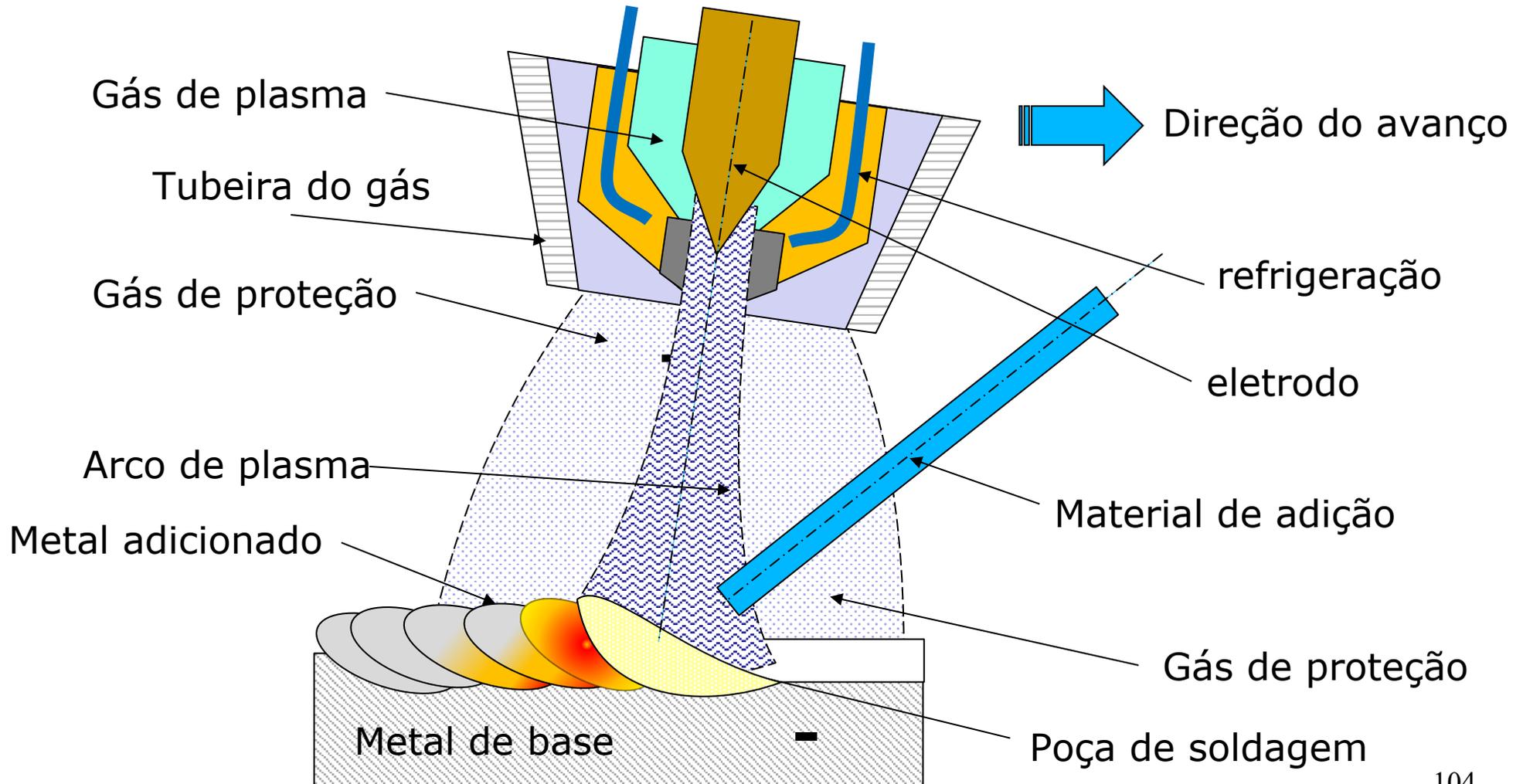
Soldagem por Plasma

- ▶ Soldagem por plasma ou *Plasma arc welding (PAW)*
- ▶ uma fonte de alta frequência deve ser utilizada para gerar um arco piloto entre o eletrodo e o restritor, a fonte de HF é desligada após estabelecimento deste. O arco piloto se mantém mesmo após o processo ter terminado, para evitar o uso da fonte de HF na nova operação



Soldagem por Plasma

► características





Soldagem por Plasma

▶ Vantagens

- ▶ Alta integridade da soldagem, soldagens de alta responsabilidade
- ▶ Velocidade e soldagem comparável a do processo GTAW-TIG
- ▶ Custo de soldagem menor do que a soldagem por Laser
- ▶ Excelente relação custo/benefício para certas aplicações, tais como soldagem de aços inoxidáveis e foles expansíveis (ex. acoplamentos)
- ▶ Boa penetração, melhor do que no TIG
- ▶ Soldagem de superfícies revestidas
- ▶ Soldagem em um único passe em materiais espessos



Soldagem por Plasma

▶ Vantagens

- ▶ A maior estabilidade do arco permite operar a alturas entre eletrodo e peça maiores, reduzindo o risco de contaminação por tungstênio
- ▶ Um eletro pode durar um turno completo antes de ser reafiado (cone da ponta)
- ▶ O custo de equipamento é bem inferior do que o necessário para soldagem a Laser ou Feixe de elétrons
- ▶ A soldagem por plasma proporciona maior vida do eletrodo



Soldagem por Plasma

▶ Desvantagens

- ▶ A grande quantidade de calor gerada leva a zonas termicamente afetadas maiores, principalmente se comparadas aos processos concorrentes de Laser e feixe de elétrons
- ▶ O equipamento é mais caro do que o TIG
- ▶ Necessidade de refrigeração por água da pistola de soldagem



Soldagem por Plasma

- ▶ Variações
- ▶ Soldagem por micro plasma
 - Geralmente opera com correntes de soldagem muito baixas de 0,1 a 15^a
 - A coluna do arco é estável com alturas entre eletrodo e peça de até 20 mm



Soldagem por Plasma

- ▶ Variações
- ▶ Soldagem com média corrente
 - Geralmente opera com correntes de soldagem entre 15 e 200A
 - Nesta variante do processo as características do processo são similares ao do processo TIG, mas devido a constrição do plasma o arco é mais rígido
 - Apesar do aumento do fluxo de gás de plasma permitir uma aumento da penetração esta condição pode levar a instabilidades no gás de proteção e ambiente devido a turbulência no arco de plasma.



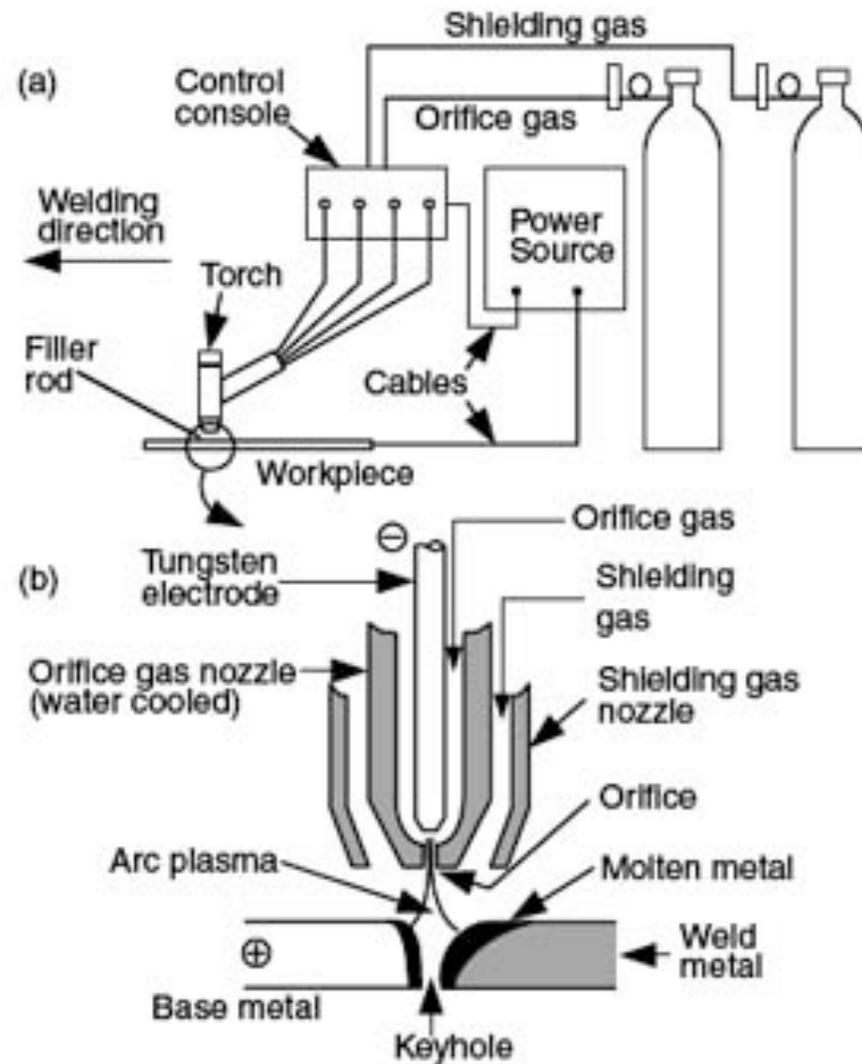
Soldagem por Plasma

- ▶ Variações
- ▶ Soldagem keyhole
 - Geralmente opera com correntes de soldagem acima de 100A
 - O aumento da corrente de soldagem e do fluxo de gás de plasma permite uma penetração completa, tais como nos processos de soldagem a laser ou por feixe de elétrons
 - Esta variante do processo de soldagem por plasma permite a soldagem de aço inoxidável com espessuras de até 10mm em uma única passagem.



Soldagem por Plasma

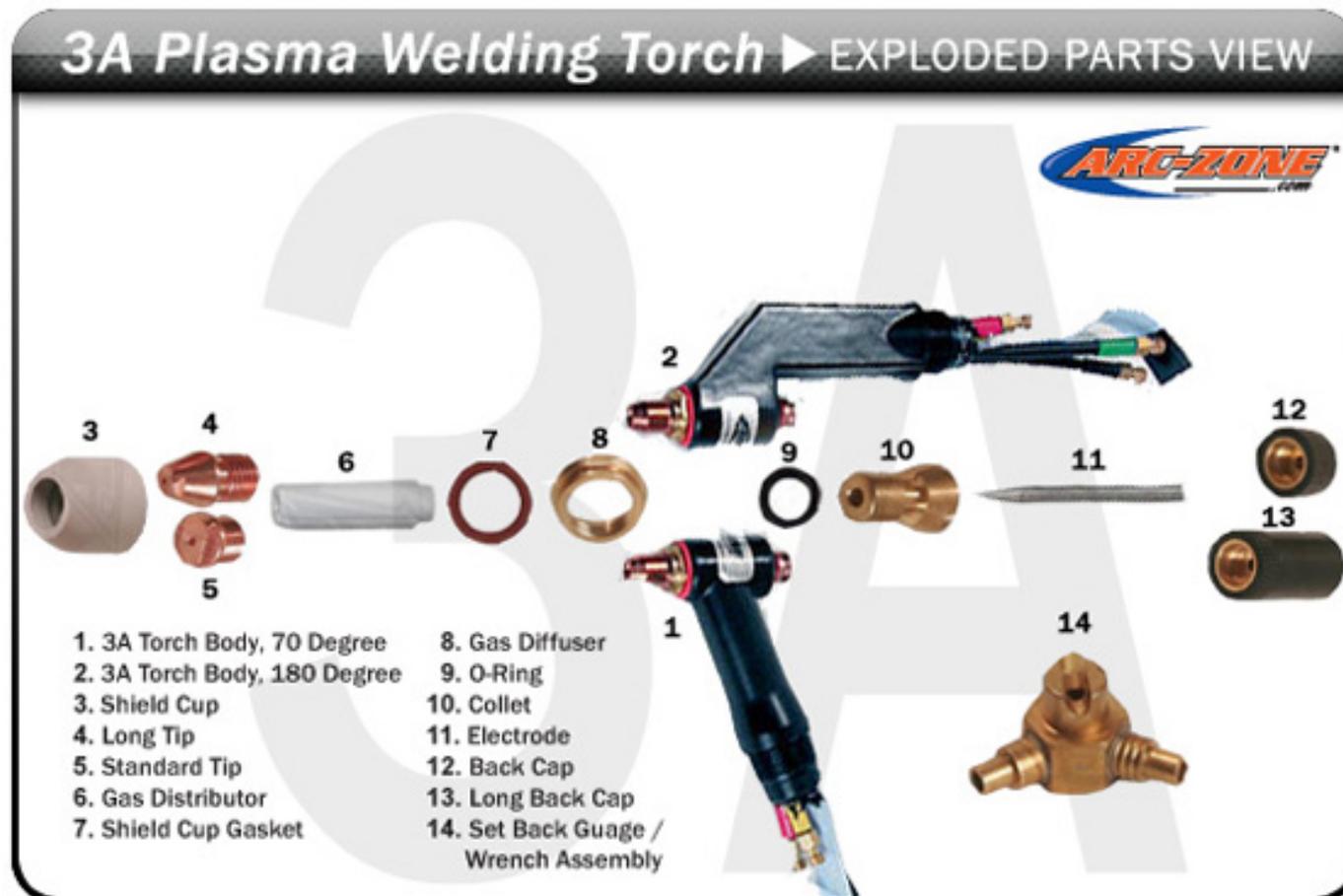
► Equipamento





Soldagem por Plasma

- ▶ Equipamento
- ▶ Características da pistola





Soldagem por Laser

- ▶ Introdução
- ▶ LASER é uma abreviação para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*
- ▶ O feixe de Laser é uma luz coerente (um única fase) monocromático (um único comprimento de onda), com pouca divergência e concentra alta densidade de energia.
- ▶ A soldagem a Laser é uma técnica que permite a união permanente de duas ou mais peças utilizando como fonte de energia um feixe de Laser.
- ▶ Geralmente a ação do feixe é na ordem de milisegundos



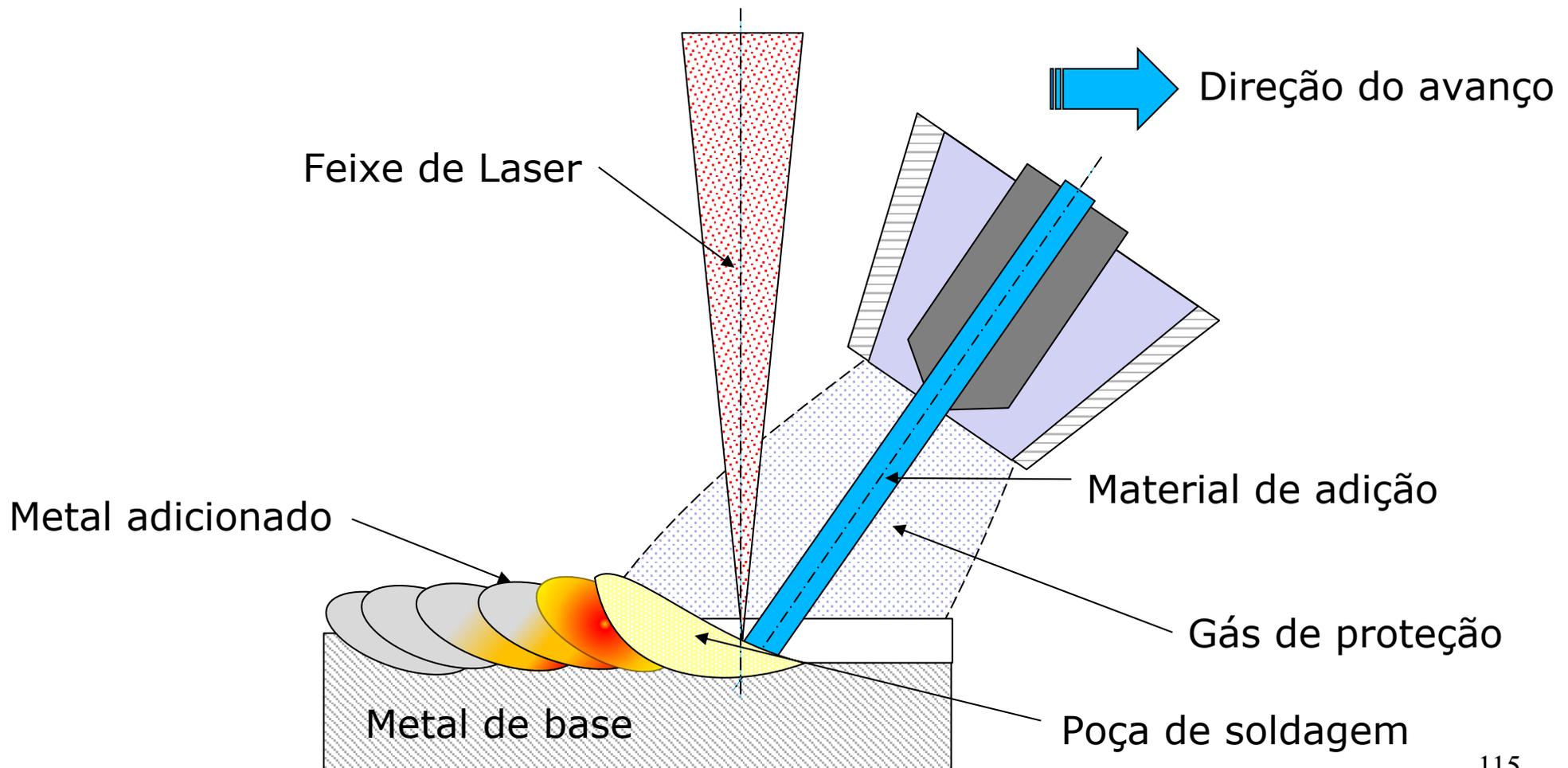
Soldagem por Laser

- ▶ Introdução
- ▶ A incidência do feixe de laser provoca um aquecimento rápido da região a ser soldada promovendo a fusão entre as peças, ou entre essas e o material de adição
- ▶ É um processo sem contato que necessita de acesso a região de soldagem por um dos lados (vareta de material de adição)
- ▶ A soldagem a Laser é empregada geralmente em materiais de difícil soldagem por outros processos ou áreas extremamente pequenas



Soldagem por Laser

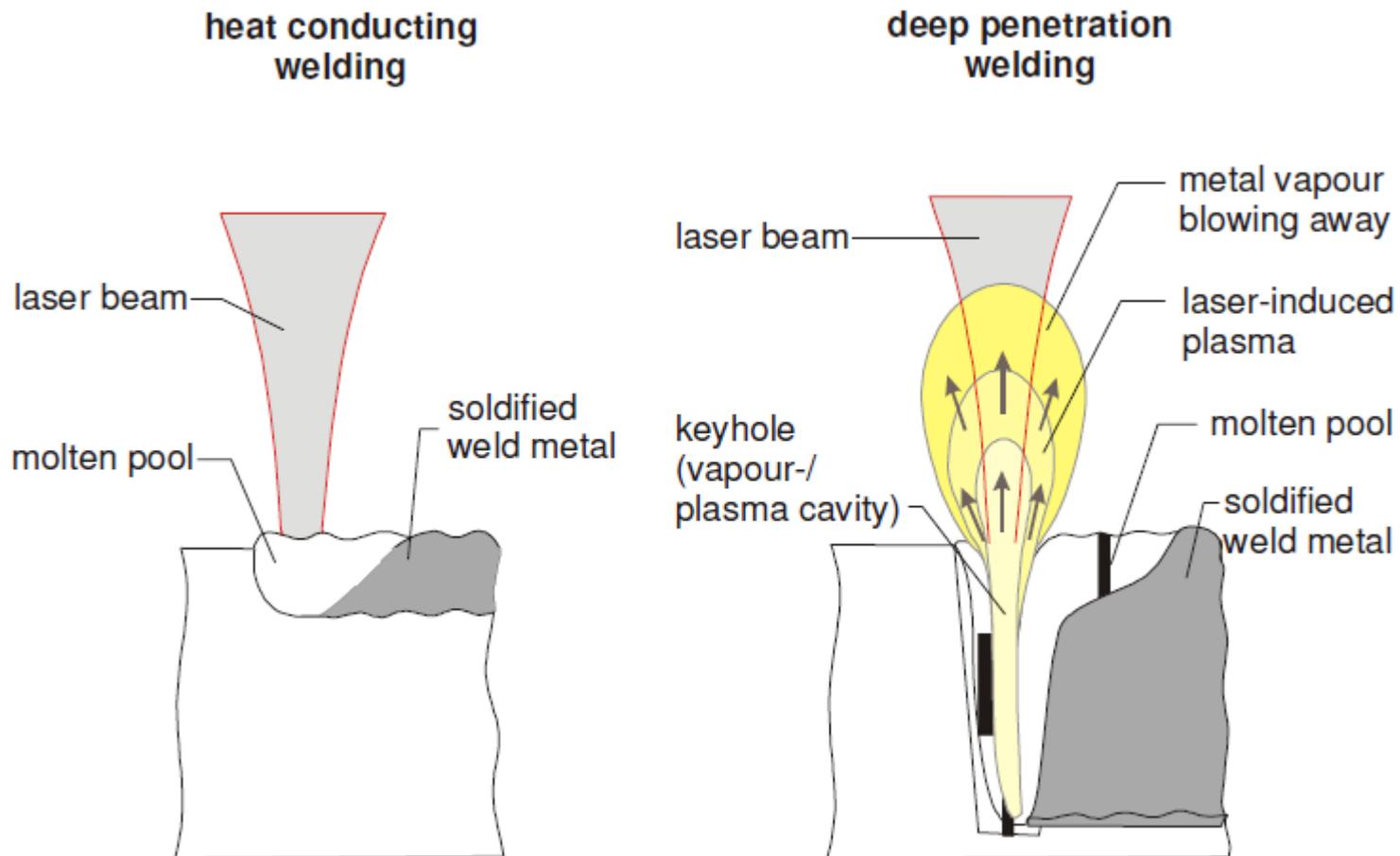
► características





Soldagem por Laser

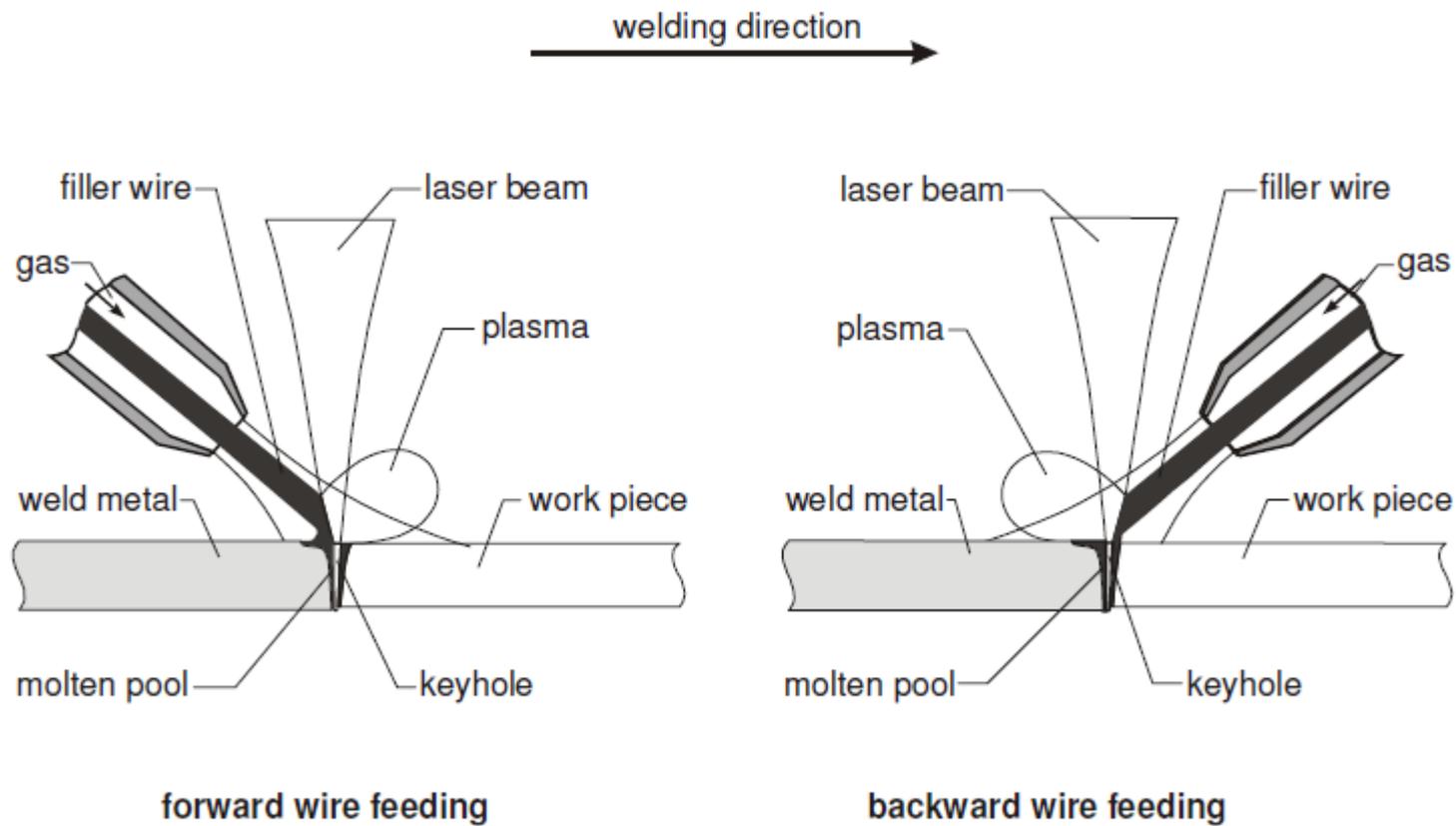
► Princípios de soldagem com Laser





Soldagem por Laser

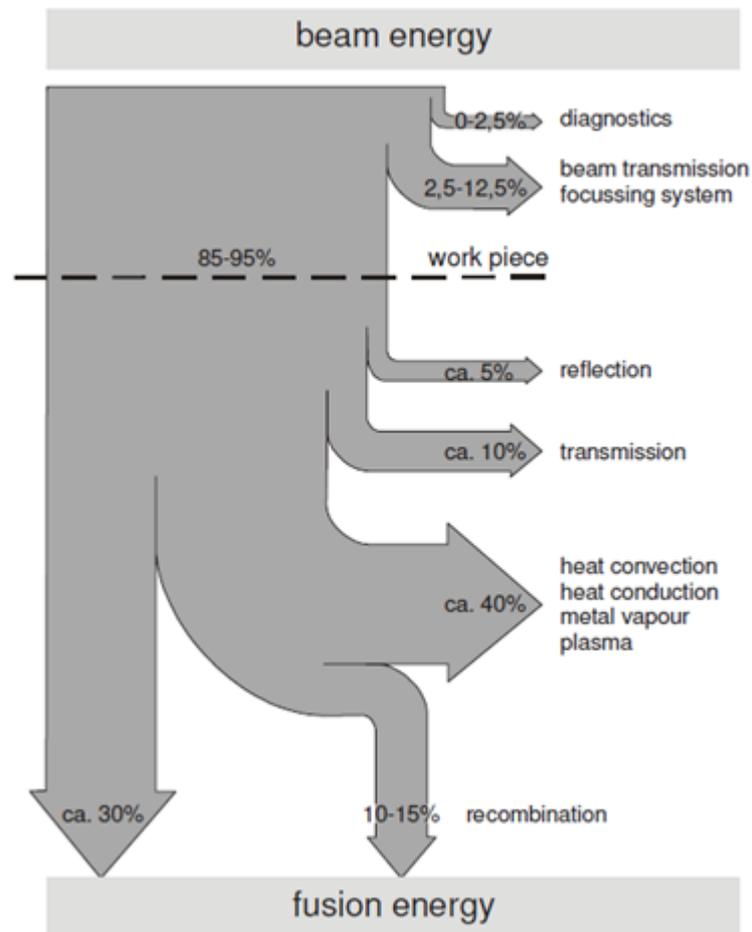
► características





Soldagem por Laser

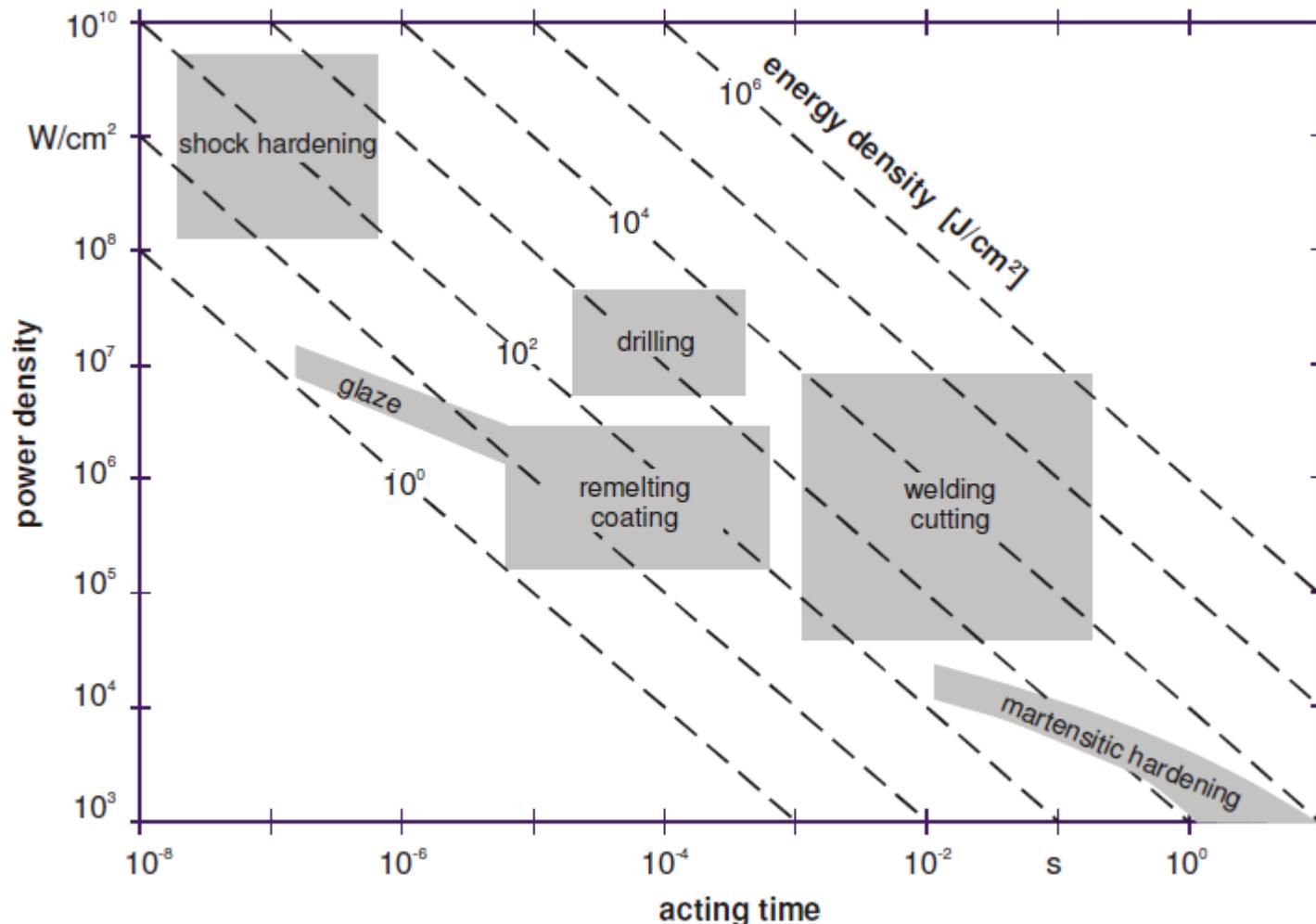
► Perdas de energia no feixe de Laser





Soldagem por Laser

- ▶ Capacidade térmica de materiais processados com Laser

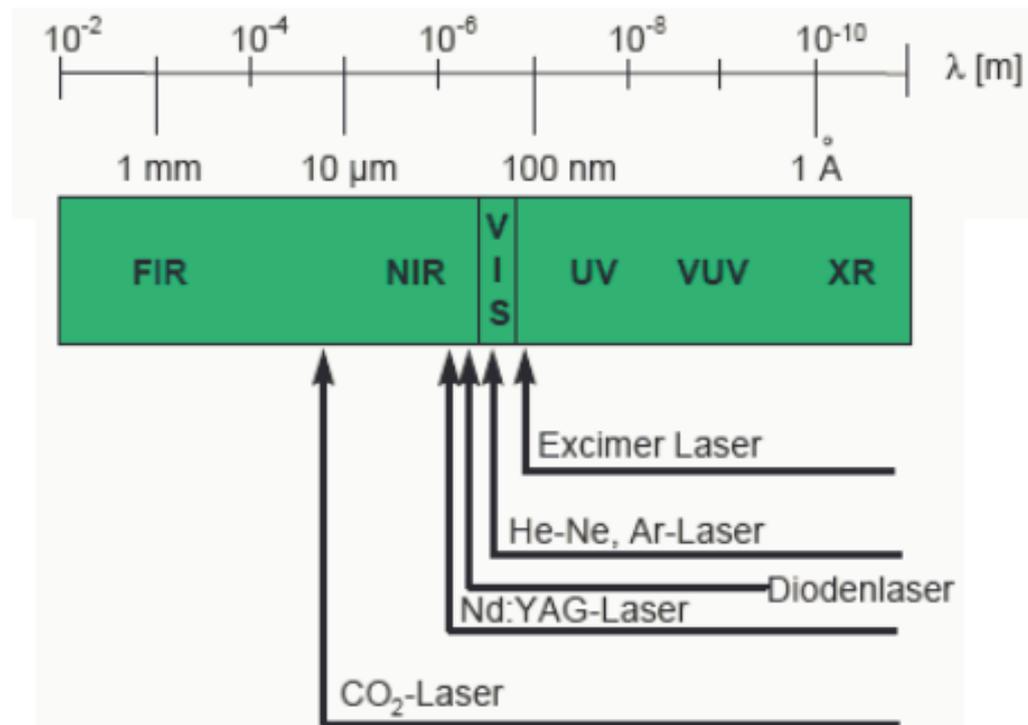




Soldagem por Laser

► Tipos de Laser

- Nd:YAG (Rod Laser) $\lambda = 1064 \text{ nm}$
- Yb:YAG (Disc Laser) $\lambda = 1030 \text{ nm}$
- CO₂ (Gas Laser) $\lambda = 10600 \text{ nm}$





Soldagem por Laser

- ▶ Tipos de Laser
- ▶ Os tipos principais de laser empregados na soldagem são:
- ▶ Os a gases, os quais usam uma mistura de gases tais com o He e N. Existem também Laser que usam CO ou CO₂ . Esses Lasers utilizam fontes de baixa corrente e alta voltagem para excitar o gás, e iniciar o processo que geral o Laser.
- ▶ Laser de estado sólido, tais como o Nd:YaG e os Laser a rubi, operam com comprimento de onda na ordem de 1 um
- ▶ Diodos Laser



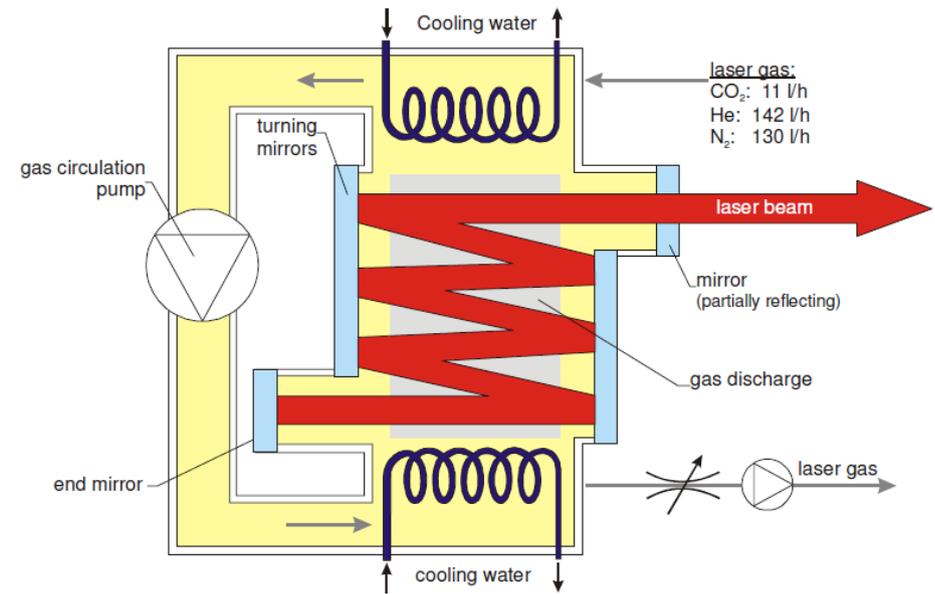
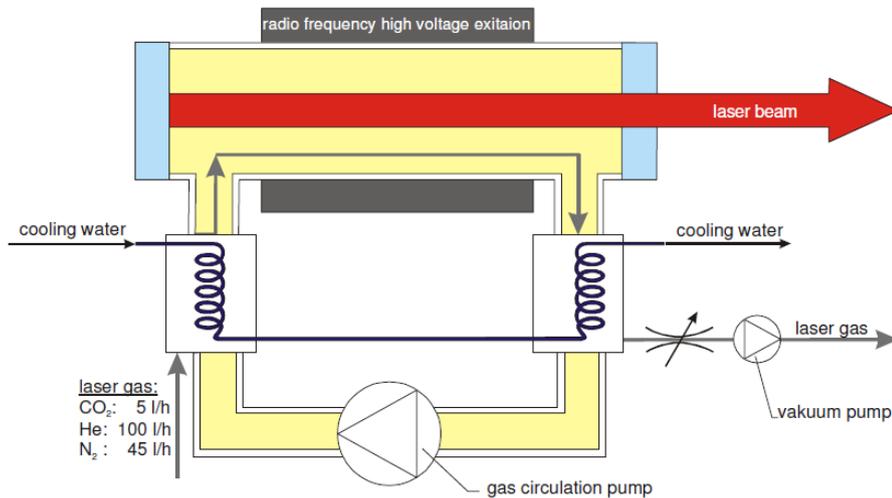
Soldagem por Laser

- ▶ Tipos de Laser
- ▶ Todos os tipos de Laser empregados em soldagem podem ser operar com onda contínua ou pulsada
- ▶ Os Laser pulsados utilizam picos de alta energia para criar a solda, ao passo que os Laser contínuos utilizam uma potência média. Isto permite aos Laser pulsados utilizarem menor energia, gerando uma ZTA menor
- ▶ Lasers are used for materials that are difficult to weld using other methods, for hard to access areas and for extremely small components. Inert gas shielding is needed for more reactive materials.



Soldagem por Laser

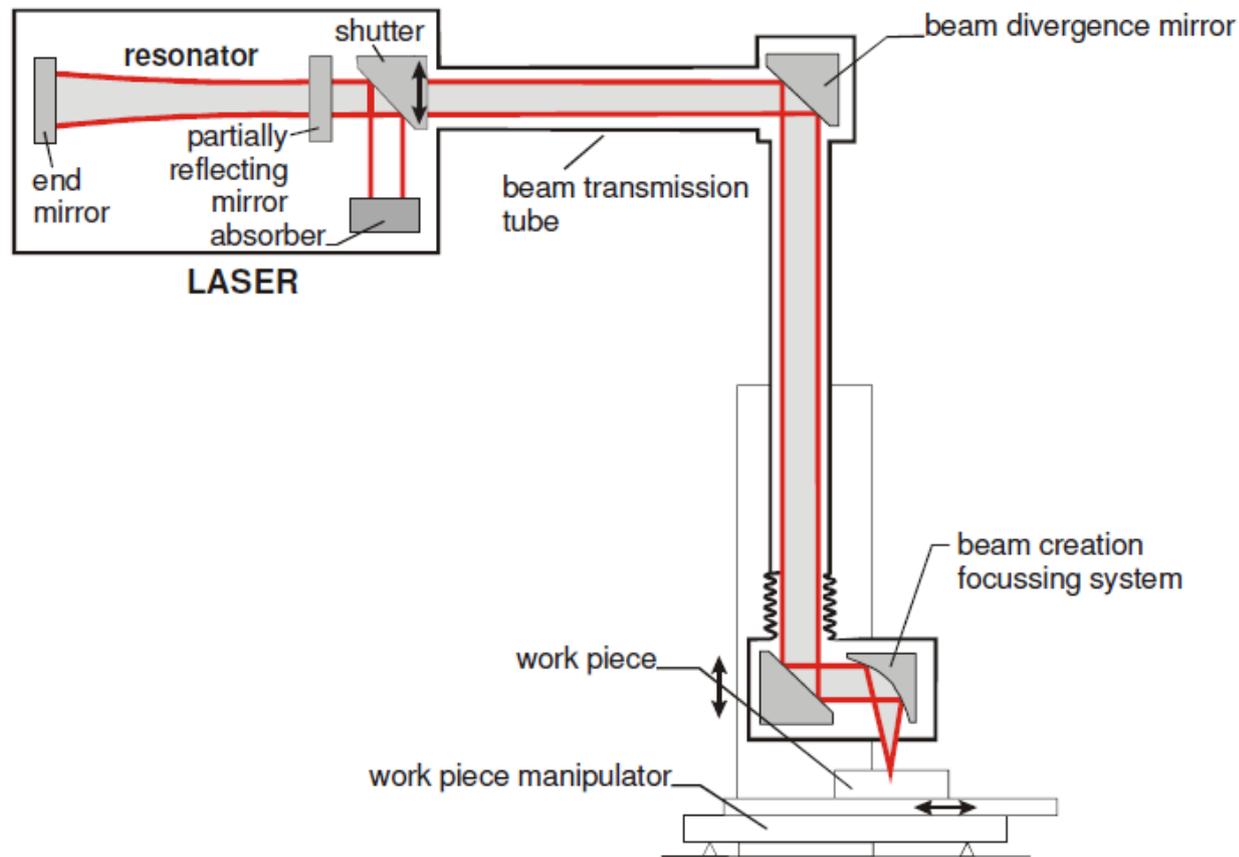
- ▶ Tipos de Laser
- ▶ CO₂





Soldagem por Laser

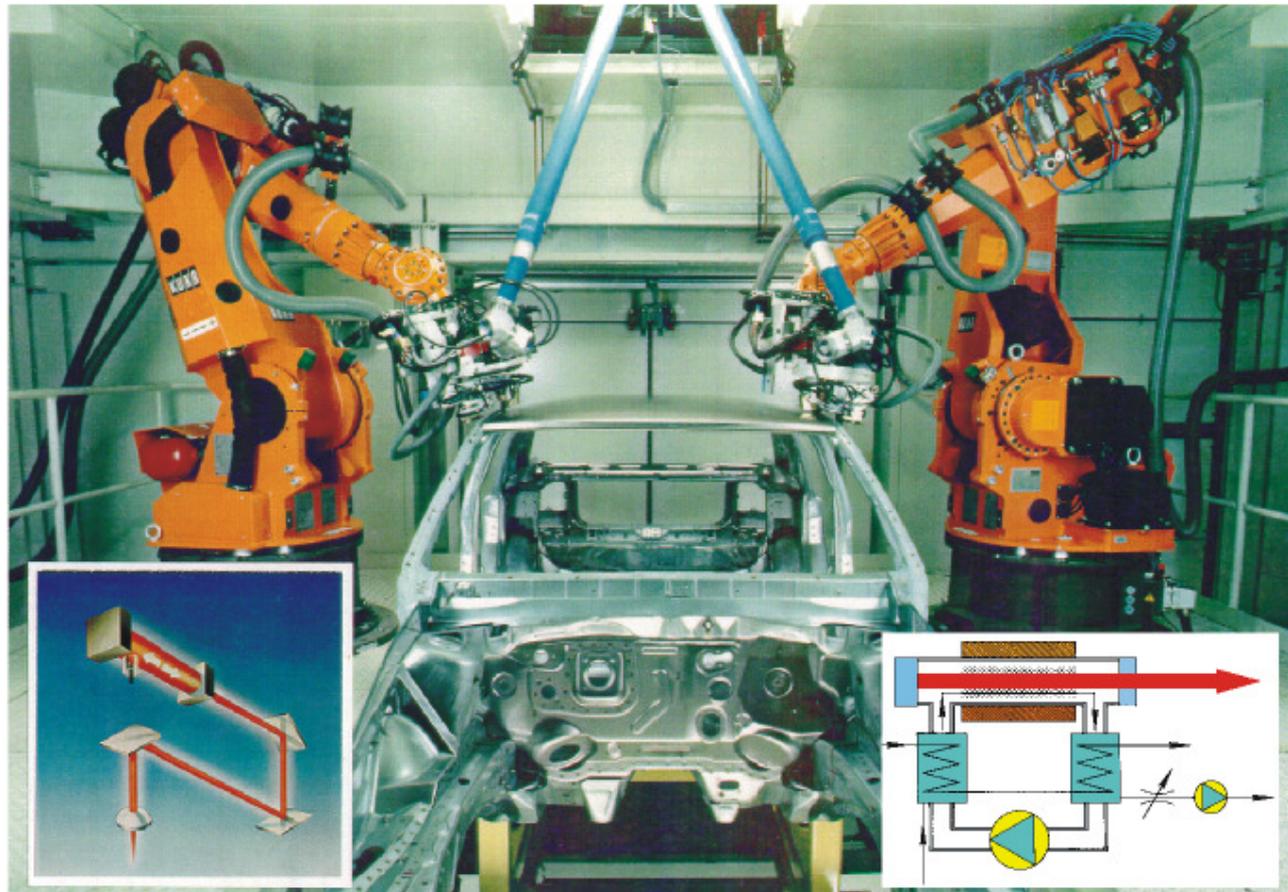
► Soldagem com Laser de CO₂





Soldagem por Laser

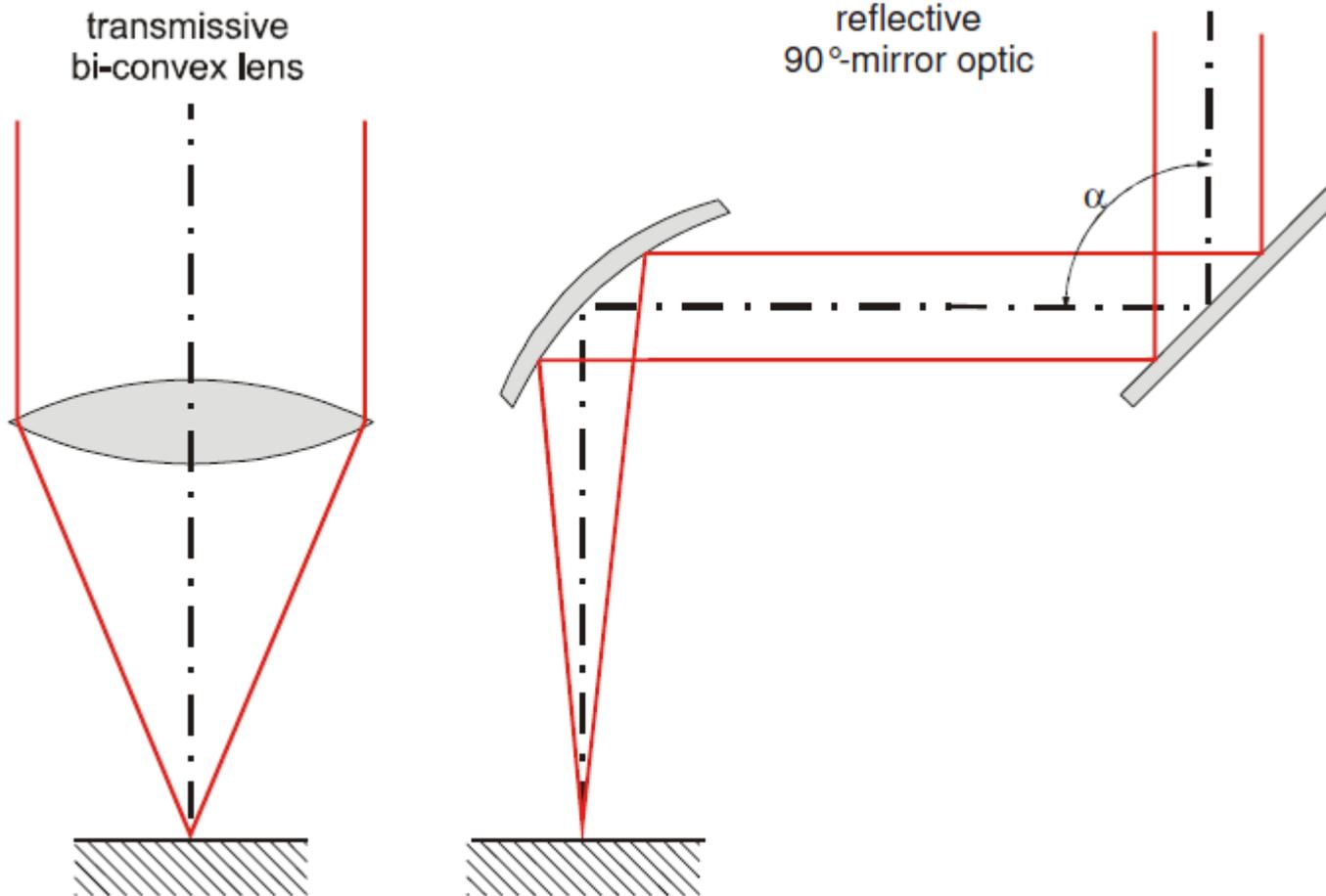
- ▶ Exemplo de estação de soldagem com Laser de CO₂





Soldagem por Laser

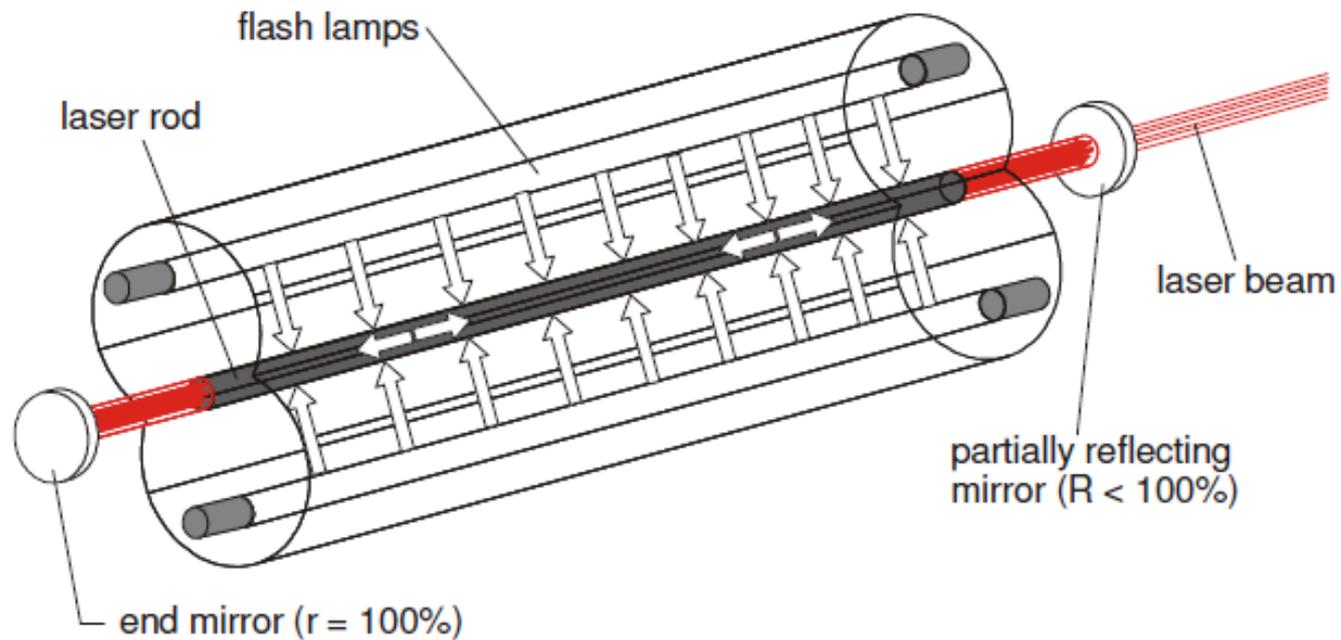
► Ótica de focagem





Soldagem por Laser

- ▶ Laser de estado sólido





Soldagem por Laser

- ▶ Exemplo de estação de soldagem com Laser de Nd:YAG





Soldagem por Laser

- ▶ Tipos de Laser
- ▶ CO₂ X YAG
 - ▶ Para o CO₂
 - Alta potência
 - Melhor foco
 - Velocidade de soldagem maiores em materiais não refletivos
 - Maior penetração em
 - Manor custo
 - Aparato de segurança menor e mais barato



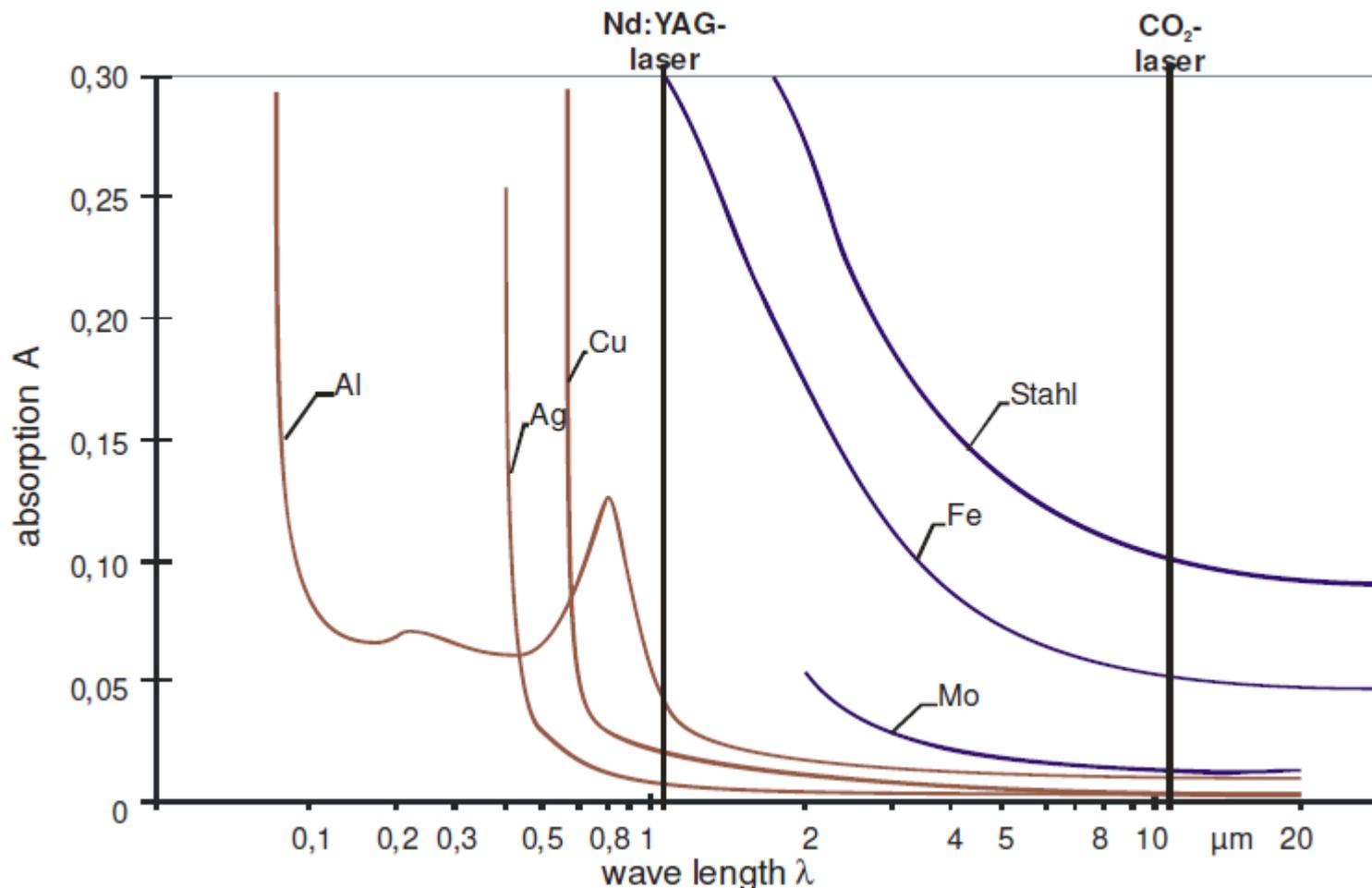
Soldagem por Laser

- ▶ Tipos de Laser
- ▶ CO₂ X YAG
 - ▶ Para o YAG
 - Passível do feixe ser distribuído por fibra óptica, o que facilita a automação
 - Pode soldar materiais reflexivos a os comprimento de onda do CO₂
 - Fácil alinhamento do feixe
 - Pode se usar Ar como gás de proteção
 - Comprimento das fibras ópticas não afeta
 - Alto pico de energia om maior energia por pulso



Soldagem por Laser

- Absorção do comprimento de onda para vários materiais





Soldagem por Laser

- ▶ Soldagem a Laser X Soldagem a Arco
- ▶ A forma de transmissão da energia com Laser é diferente da forma proporcionada pelo arco elétrico
- ▶ A soldagem a Laser a absorção de energia pelo material é afetada por uma série de fatores tais como o tipo de laser, forma de operação (contínua ou pulsada), densidade de energia incidente, condições do material de base entre outras.
- ▶ A natureza do Laser não é elétrica, portanto não é afetada por campos magnéticos ou condições geométricas impostas pelos componentes que estão sendo soldados
- ▶ Não produz Raio-X
- ▶ Pode ser empregada em materiais não metálicos



Soldagem por Laser

► Vantagens:

- Opera com aços alta liga sem problemas
- Pode ser transmitido por longas distâncias sem perdas significativas
- A ZTA é muito pequena
- Solda materiais diferentes
- Não é necessário material de adição
- Não necessita remoção de material de proteção
- Extremamente precisa
- Produz soldas profundas e estreitas
- Gera pouca distorção térmica



Soldagem por Laser

► Vantagens:

- Pode ser utilizada em peças pequenas e de pouca espessura
- Alta velocidade de soldagem
- Pode ser empregada para soldar polímeros e compósitos



Soldagem por Laser

► Desvantagens

- A alta taxa de resfriamento pode gerar trincas em alguns materiais
- Elevado custo do equipamento
- Alto custo de manutenção
- Reflexão dos materiais metálicos pode danificar a óptica
- Necessita de posicionamento e movimentação exatos sobre a junta
- Perigo de provocar temperas localizadas
- Necessidade de sistemas de proteção contra radiação



Soldagem por Laser

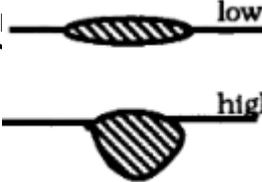
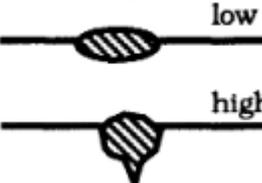
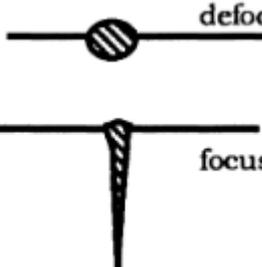
► Desvantagens

- Difícil de operar soldagens em alumínio, cobre e materiais de alta refletividade
- Baixa eficiência CO₂ <20%, YAG < 5%
- Refletividade das superfícies podem limitar a penetração a 25mm
- Incidência de trincas
- Transmissão do feixe é cara



Soldagem por Laser

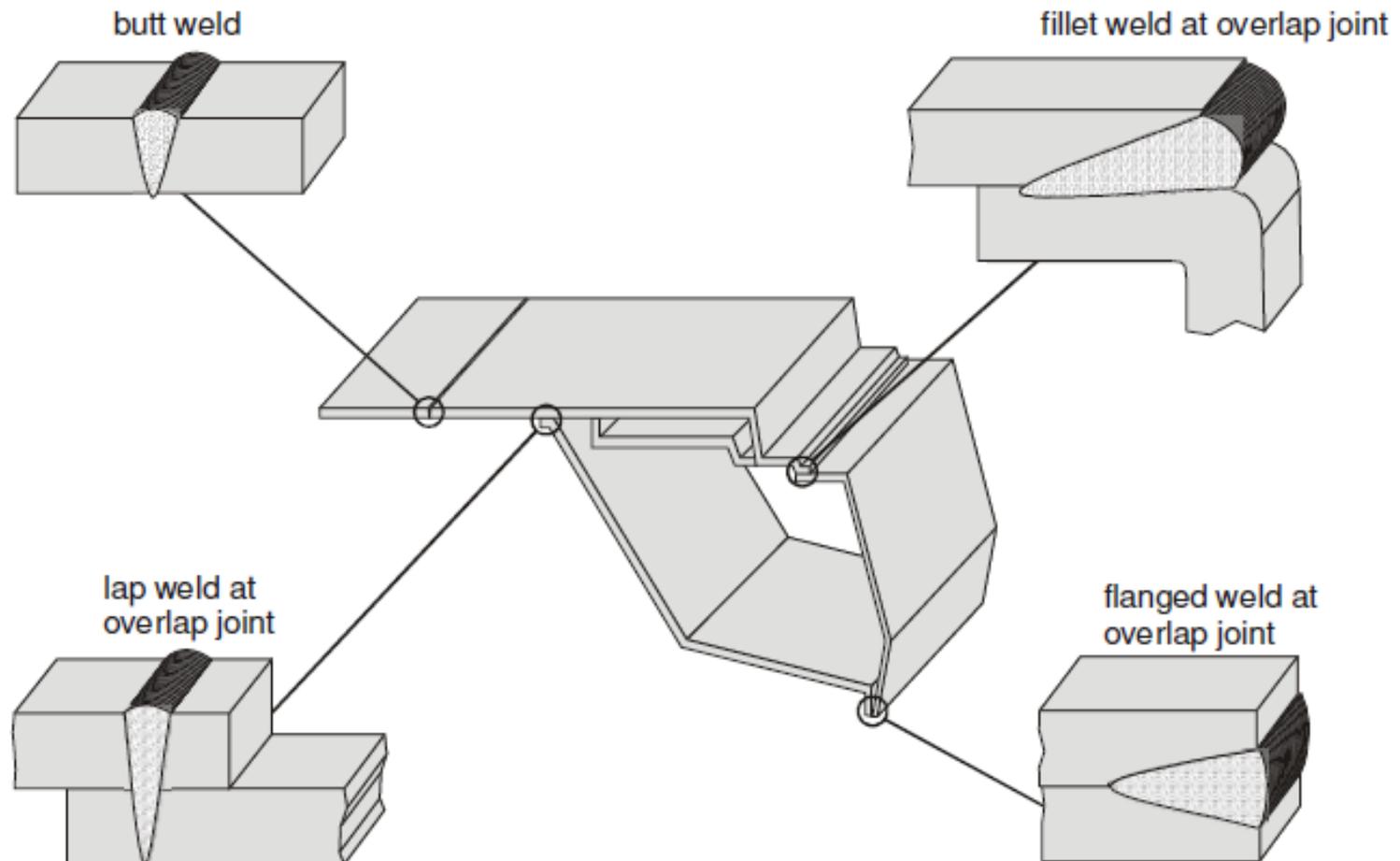
▶ Comparação da densidade de energia

Processo	Intensidade de calor W^2m	Profundidade da zona de fusão
▶ Arco submerso	▶ $5 \times 10^6 : 10^8$	▶ 
▶ MIG/MAG/TIG	▶ $5 \times 10^6 : 10^8$	▶ 
▶ Plasma	▶ $5 \times 10^6 : 10^{10}$	▶ 
▶ Laser / feixe de elétrons	▶ $10^{10} : 10^{12}$	▶ 



Soldagem por Laser

- Configurações das juntas soldadas por feixe de Laser





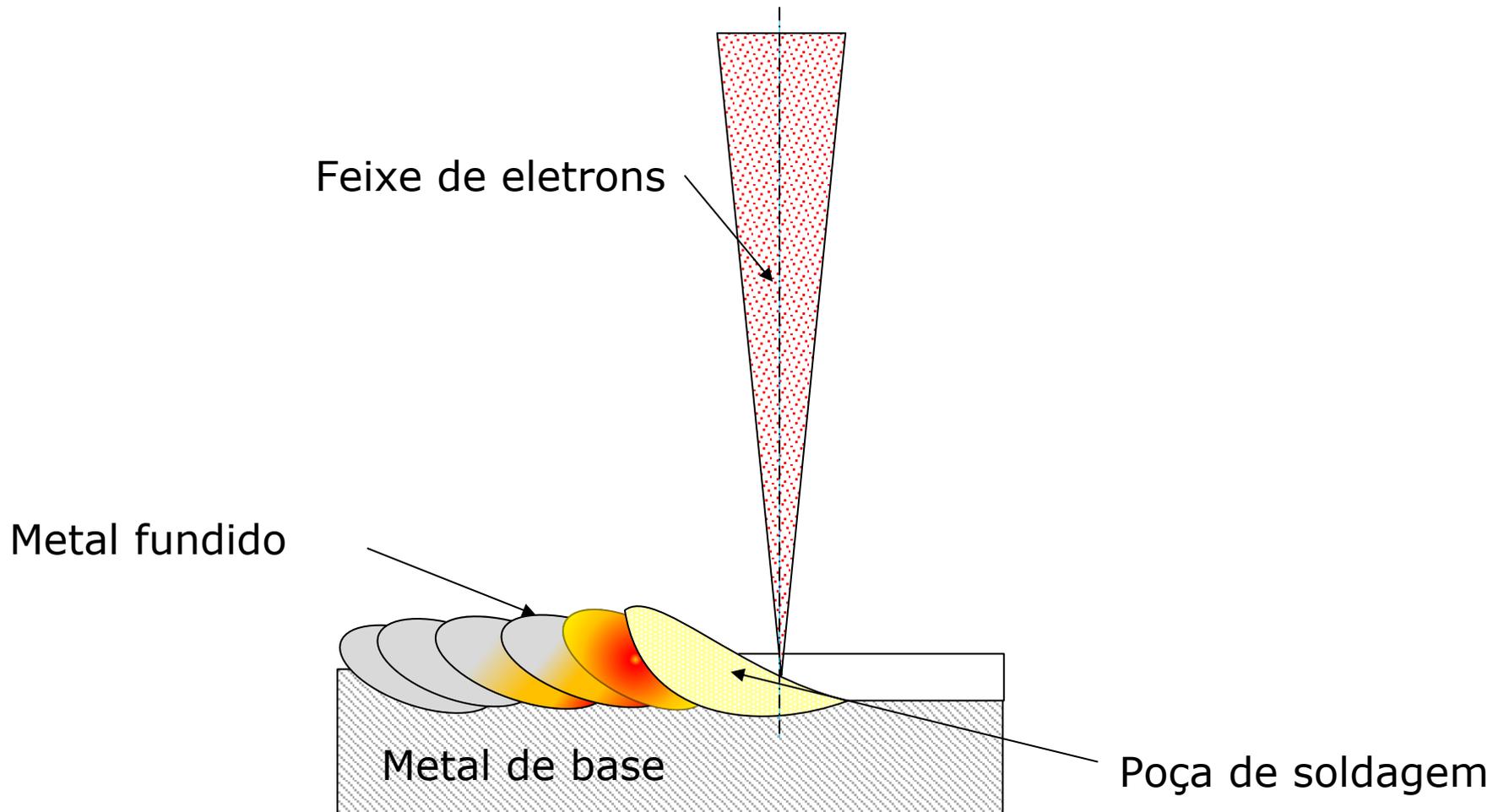
Soldagem por feixe de elétrons

- ▶ Soldagem por feixe de elétrons ou electron beam welding (EBW)
- ▶ É um processo de soldagem por fusão no qual a fonte de energia é proveniente de um feixe de elétrons de alta velocidade.
- ▶ Neste a região das juntas a serem soldadas se fundem devido a alta energia cinética do elétrons que é transformada em calor com o impacto com a superfície
- ▶ Processo de Soldagem de alta produtividade, completamente automatizado, capaz de produzir soldas de alta qualidade com amplo espectro de aplicações, da indústria de alta peças a indústria aero espacial.
- ▶ Soldagem por feixe de elétrons é utilizada quando os requisitos de resistência, qualidade e confiabilidade da solda são primários



Soldagem por feixe de elétrons

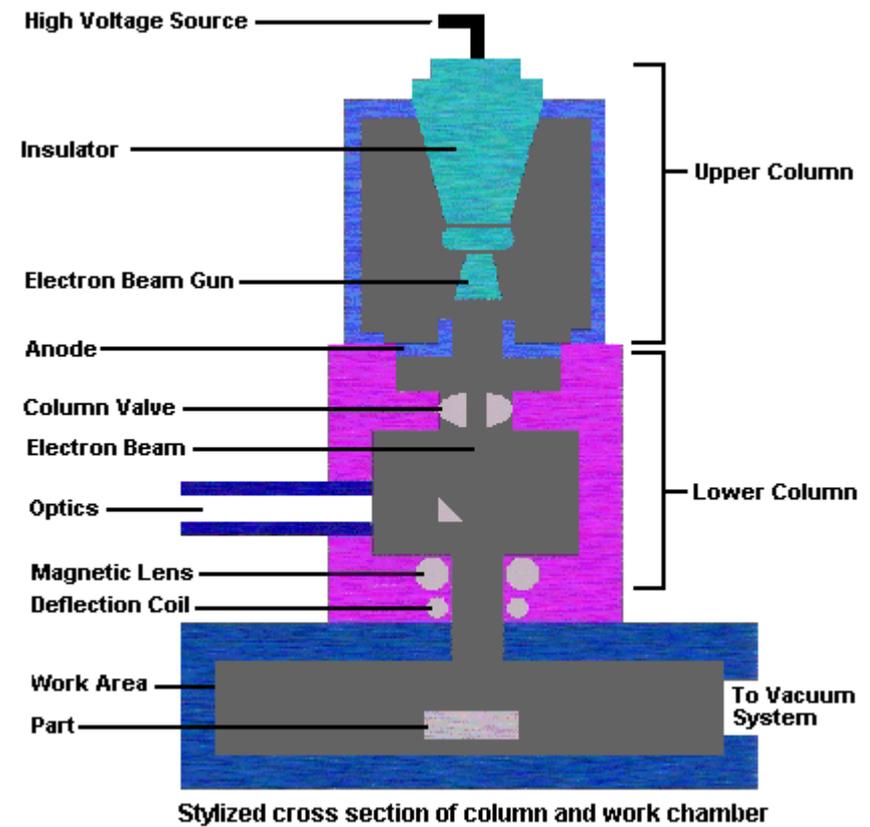
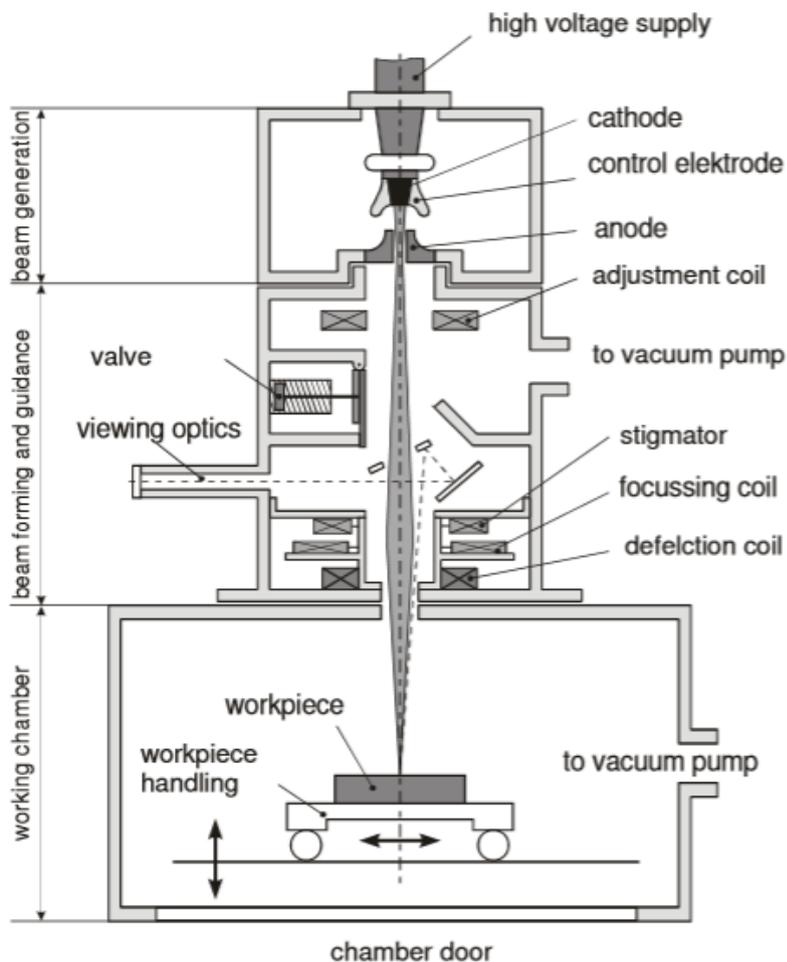
► características





Soldagem por feixe de elétrons

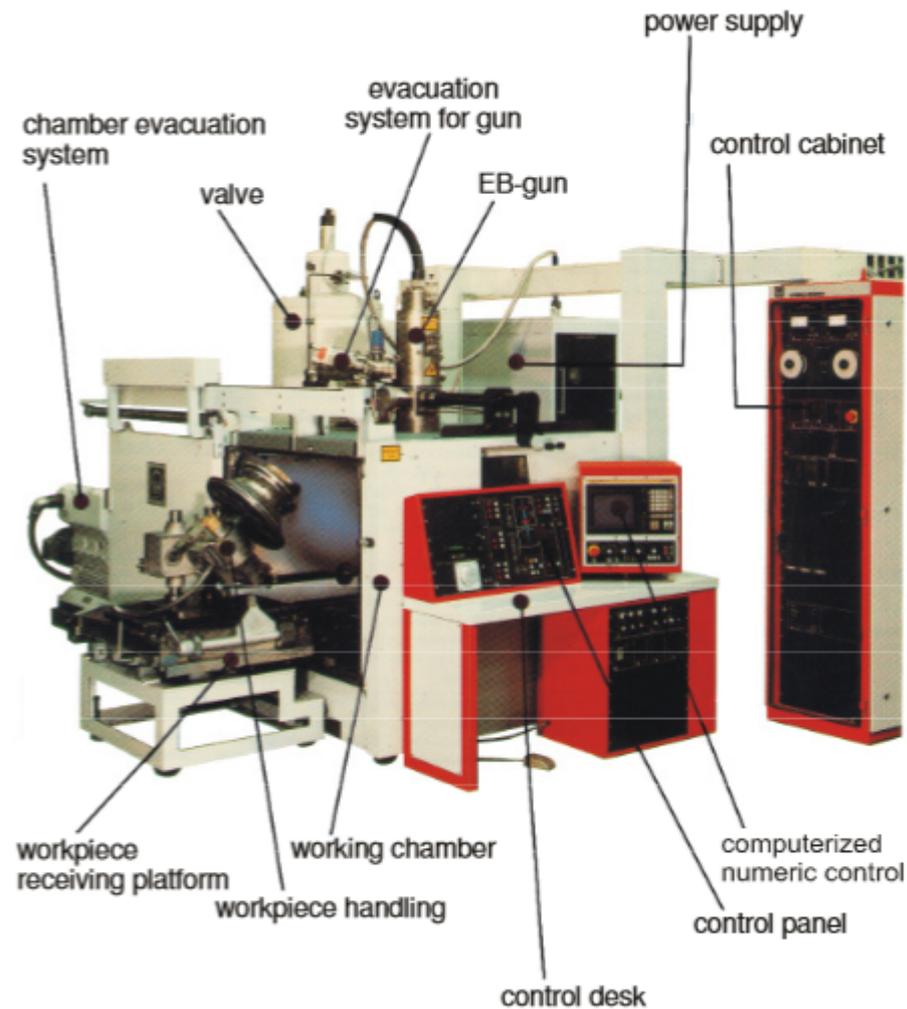
► Equipamento - esquia





Soldagem por feixe de elétrons

► Equipamento - exemplo





Soldagem por feixe de elétrons

► Vantagens

- Comparado com os processos de soldagem a arco voltaico a EBW melhora a resistência da junta entre 15 e 25%
- A ZTA é pequena,
- O cordão de solda com dimensões estáveis, o que é particularmente útil em operações de acabamento
- Elimina óxidos e inclusões de tungstênio, e remove impurezas
- Estrutura cristalina do material fundido é fina
- Soldagem de chapas finas em todas as posições



Soldagem por feixe de elétrons

► Vantagens

- Baixa distorção térmica
- Permite soldar estruturas onde um dos lados está no vácuo
- Qualidade da junta soldada é contínua, processo automatizado
- Não necessita de gases de proteção
- Não utiliza eletrodos de tungstênio
- Não precisa de preparação de juntas
- Pode soldar materiais impossíveis por outros processo (ex. polímeros)



Soldagem por feixe de elétrons

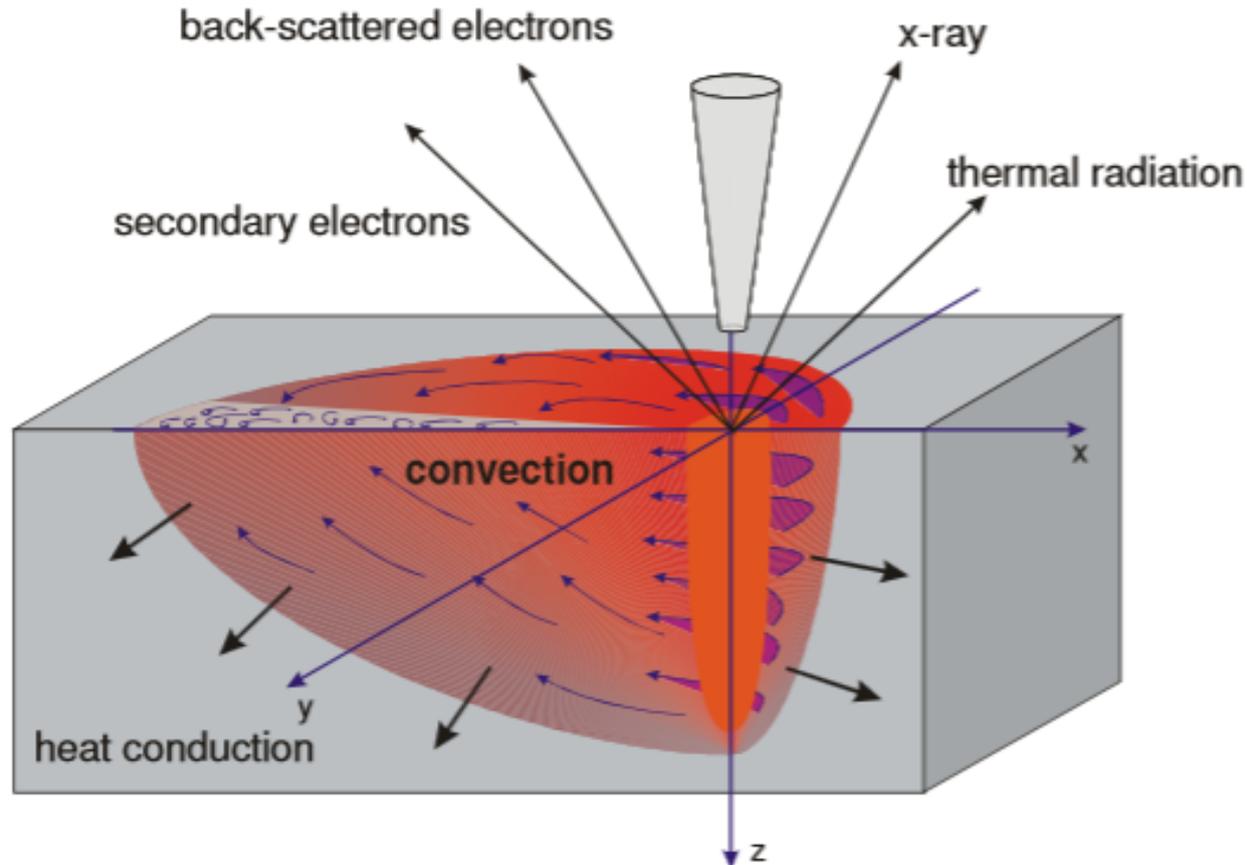
► Desvantagens

- Alto custo do equipamento
- Necessita de câmara de contenção
- Demorada quando necessita ser realizada no vácuo
- Alto custo de preparação
- Emissões de Raio-X
- Alta taxa de solidificação poder gerar trincas
- Operadores habilitados
- Não recomendado para aços com alto teor de carbono (trincas)



Soldagem por feixe de elétrons

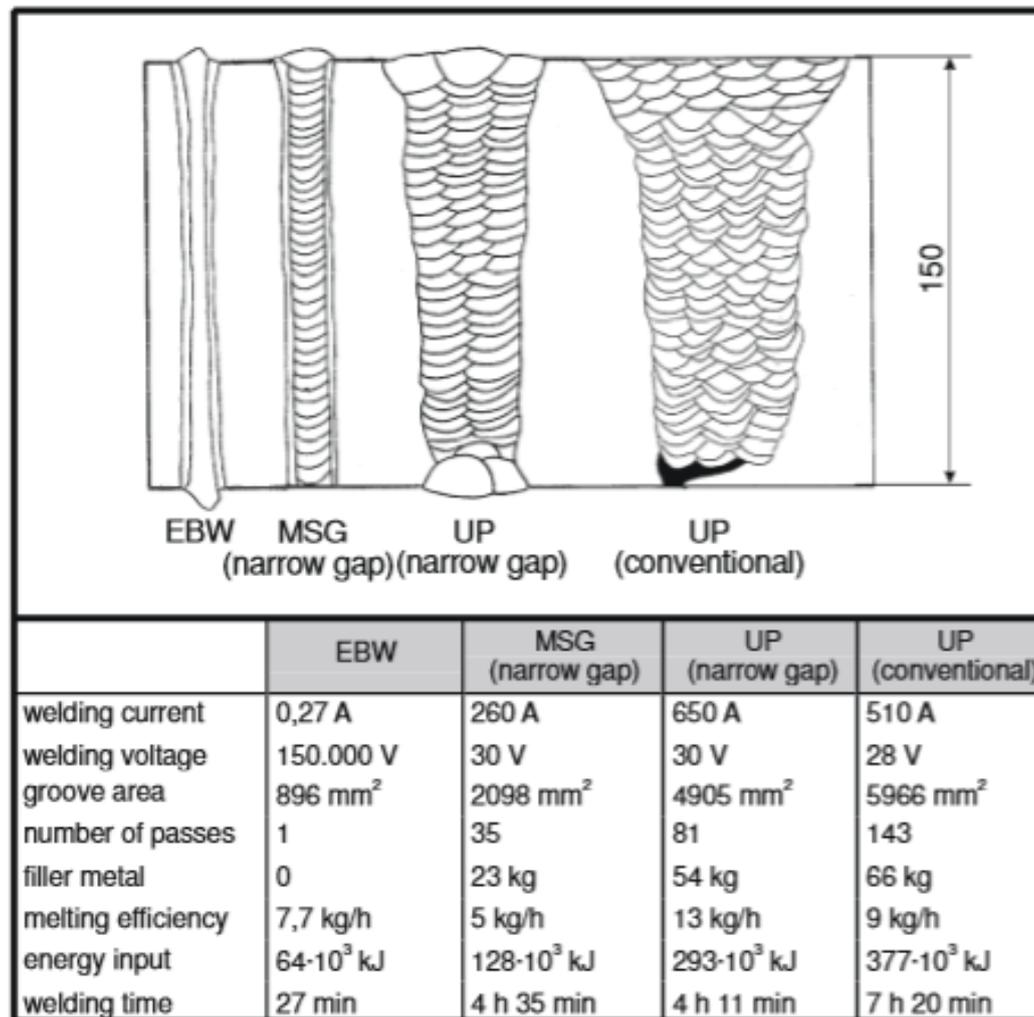
- ▶ Principais processos de soldagem





Soldagem por feixe de elétrons

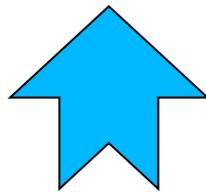
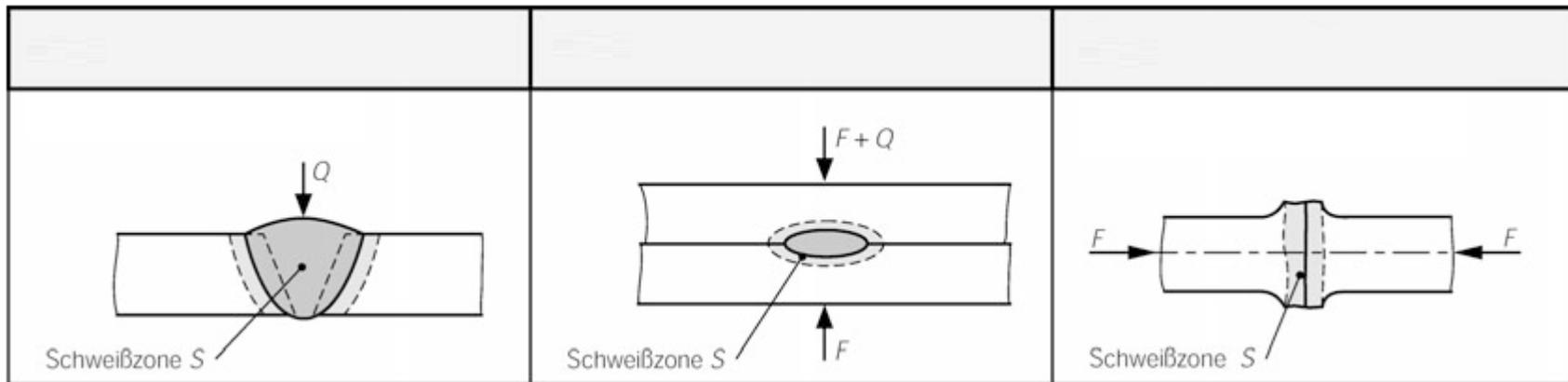
► comparação



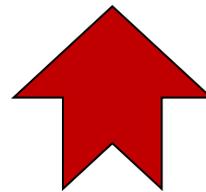


Soldagem por resistência elétrica

▶ introdução



- ▶ Soldagem ER,
AS, TIG, MIG,
MAG, Plasma,
FE, Laser





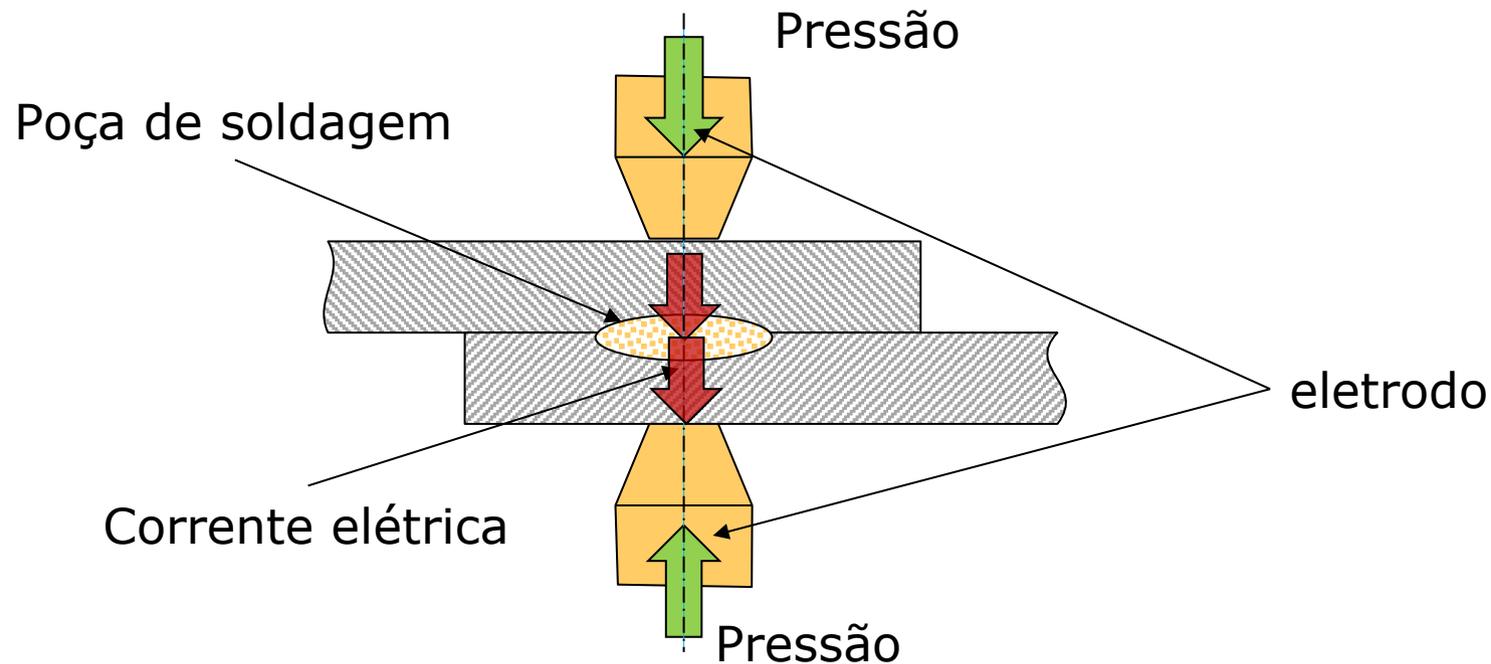
Soldagem por resistência elétrica

- ▶ Soldagem por resistência elétrica ou *resistance spot weld* (RW)
- ▶ A soldagem por resistência é um processo termo elétrico no qual o calor necessário a fusão do material é gerado na interface das peças a serem unidas.
- ▶ O calor é gerado através da passagem de corrente elétrica aplicada de forma precisa, e controlada em um ponto onde os eletrodos aplicam pressão.



Soldagem por resistência elétrica

- ▶ Visão geral do processo



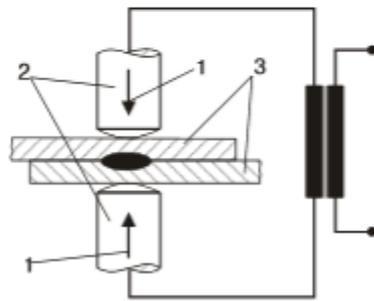


Soldagem por resistência elétrica

► Tipos de soldagem por resistência

spot welding

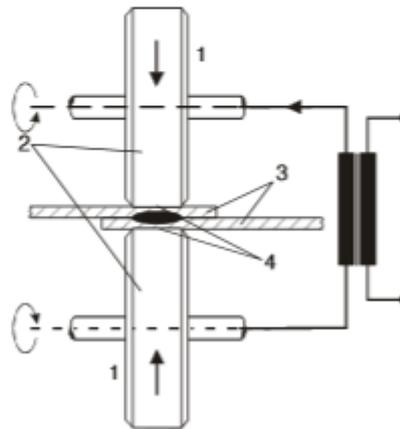
- workpieces overlap
- electrode
- weld nugget



1 electrode force
2 electrodes
3 production part

roller seam welding

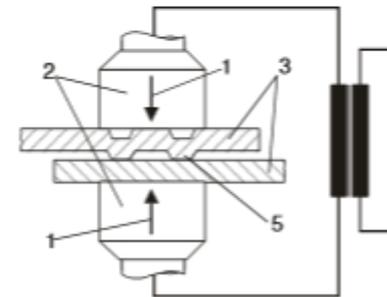
- workpiece usually in general overlap
- driven roller electrode
- spot rows (stitch weld, roller spots)



4 loaded area

projection welding

- workpieces with elevations (concentration of electricity)
- workpieces overlap
- pad electrode
- several joints in a single weld
- weld nugget joint



5 projection



Soldagem por resistência elétrica

► Balanço de energia

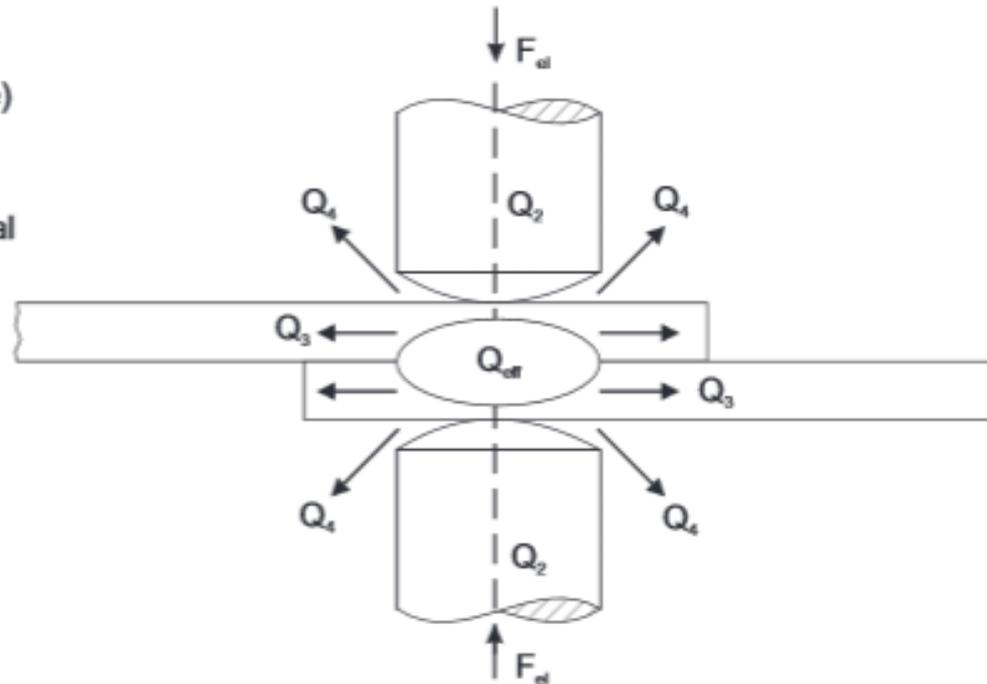
- F_{el} : electrode force
- Q_{eff} : effective heat
- Q_{input} : total heat input
- I : current (time dependence)
- Q_1 : heat losses
- Q_2 : losses into the electrodes
- Q_3 : losses into the sheet metal
- Q_4 : losses by heat radiation
- $R(t)$: total resistance
- $R_{material}(t)$: material resistance
- $R_c(t)$: contact resistance

$$Q_{eff} = Q_{input} - Q_1$$

$$Q_{input} = C \int_{t=0}^{t=t_0} I^2(t) R(t) dt$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$$

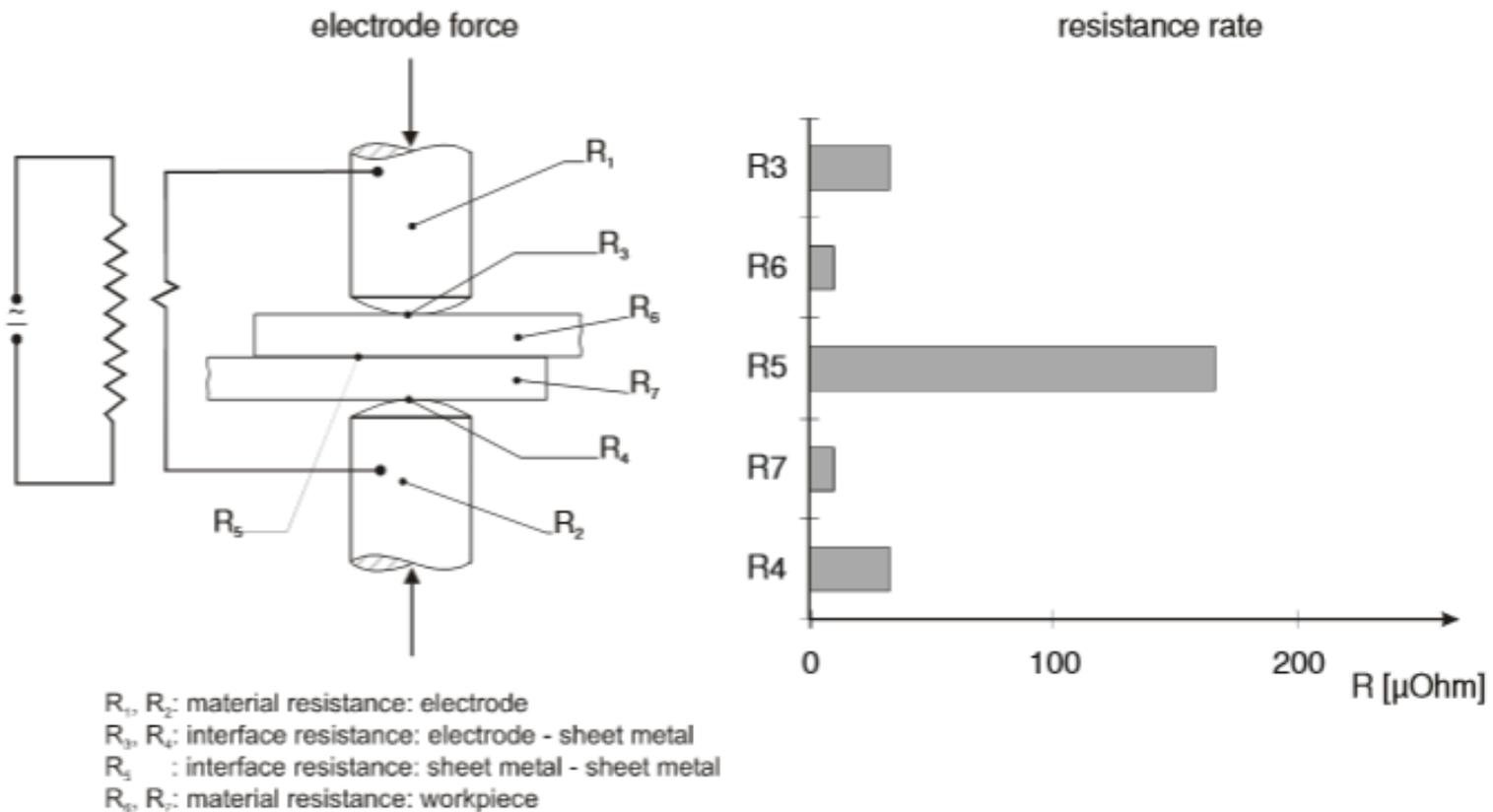
$$R(t) = R_{material}(t) + R_c(t)$$





Soldagem por resistência elétrica

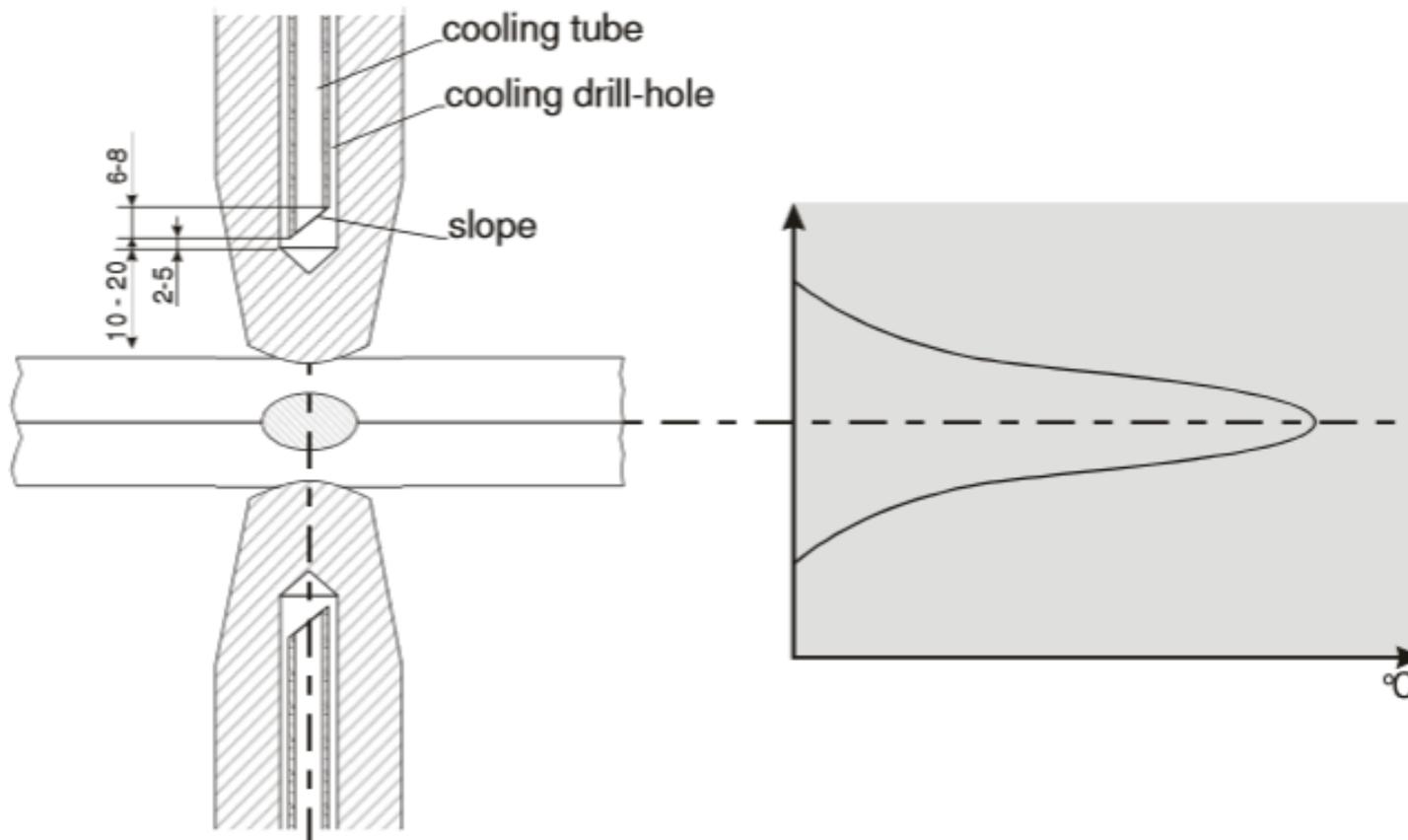
► Tipos de soldagem por resistência





Soldagem por resistência elétrica

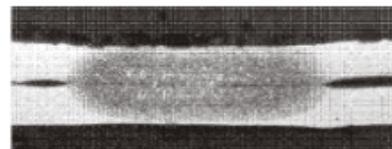
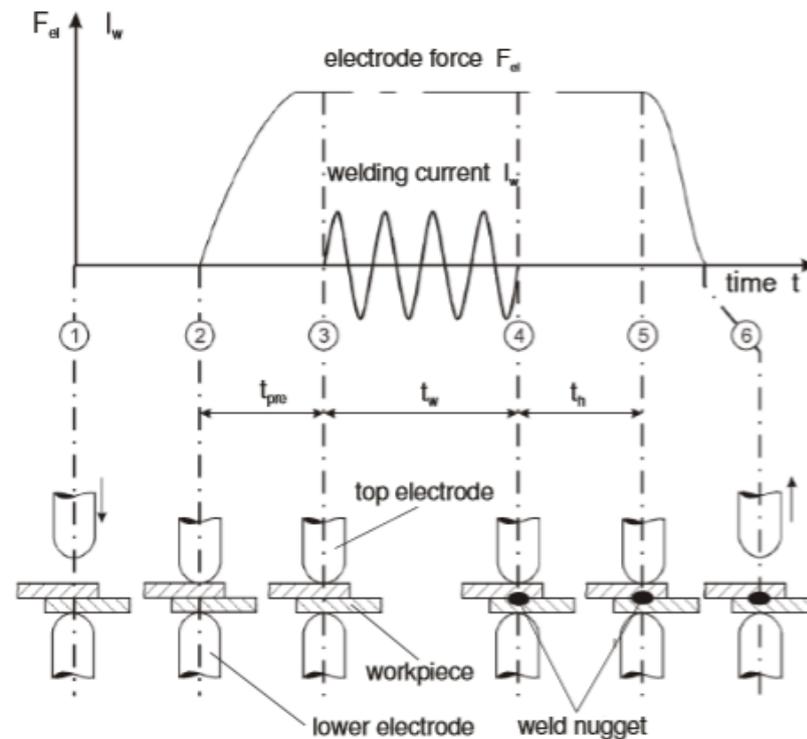
- ▶ Resfriamento do eletrodo





Soldagem por resistência elétrica

- ▶ Sequencia temporal da soldagem pro resistência



insufficiently melted weld nugget

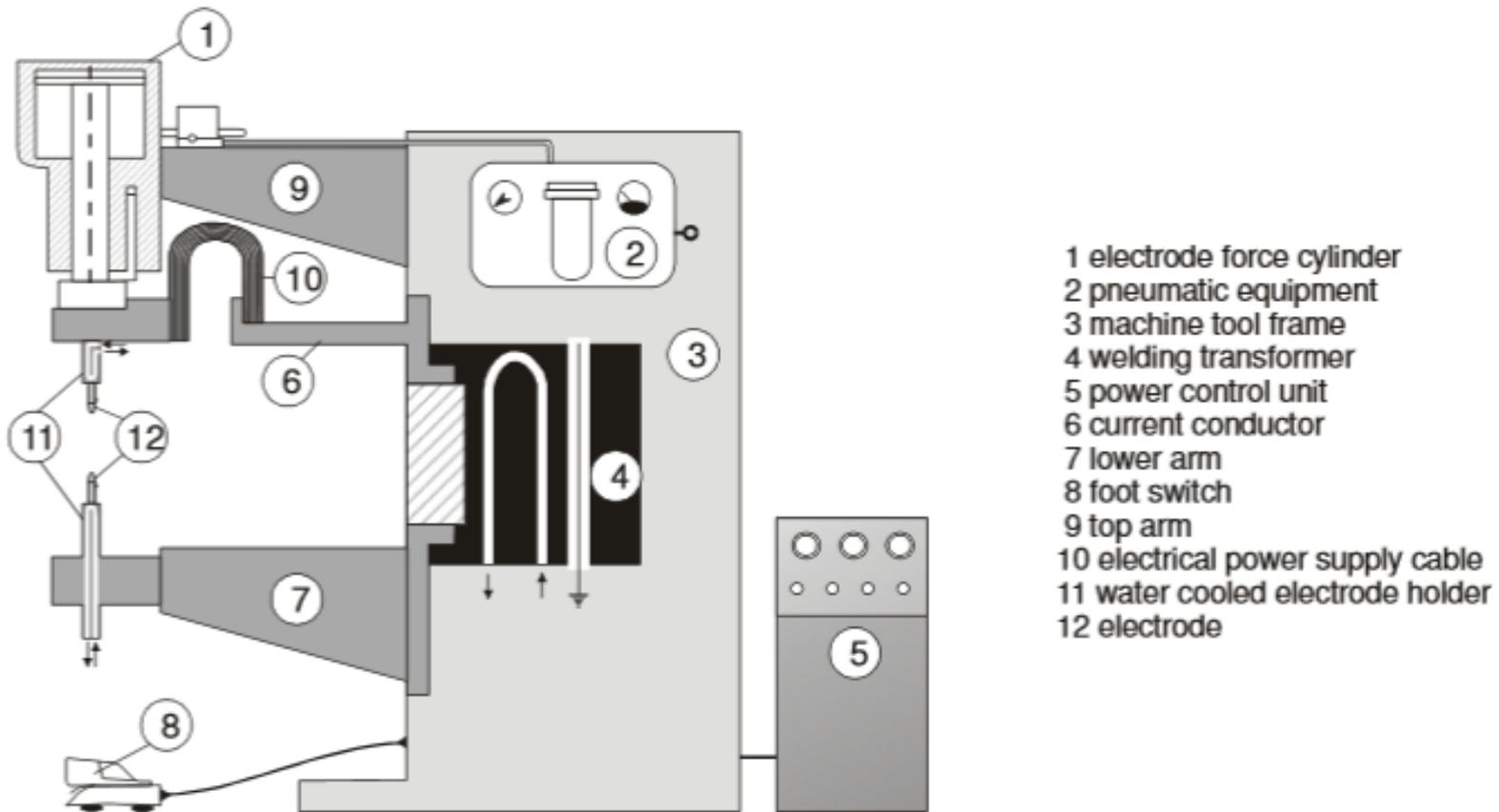


totally melted weld nugget



Soldagem por resistência elétrica

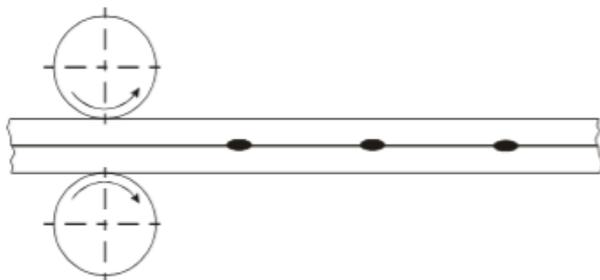
- Equipamento para soldagem por resistência



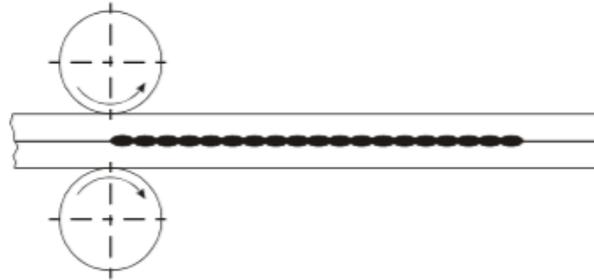


Soldagem por resistência elétrica

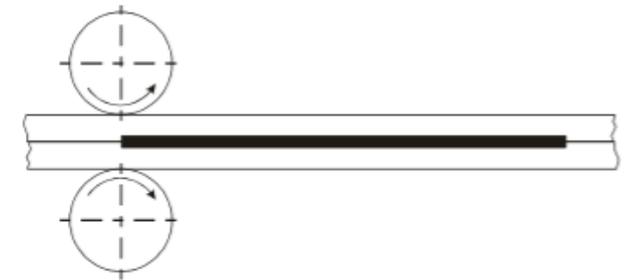
► Vanações



interrupted-current roller seam weld



overlap seal weld

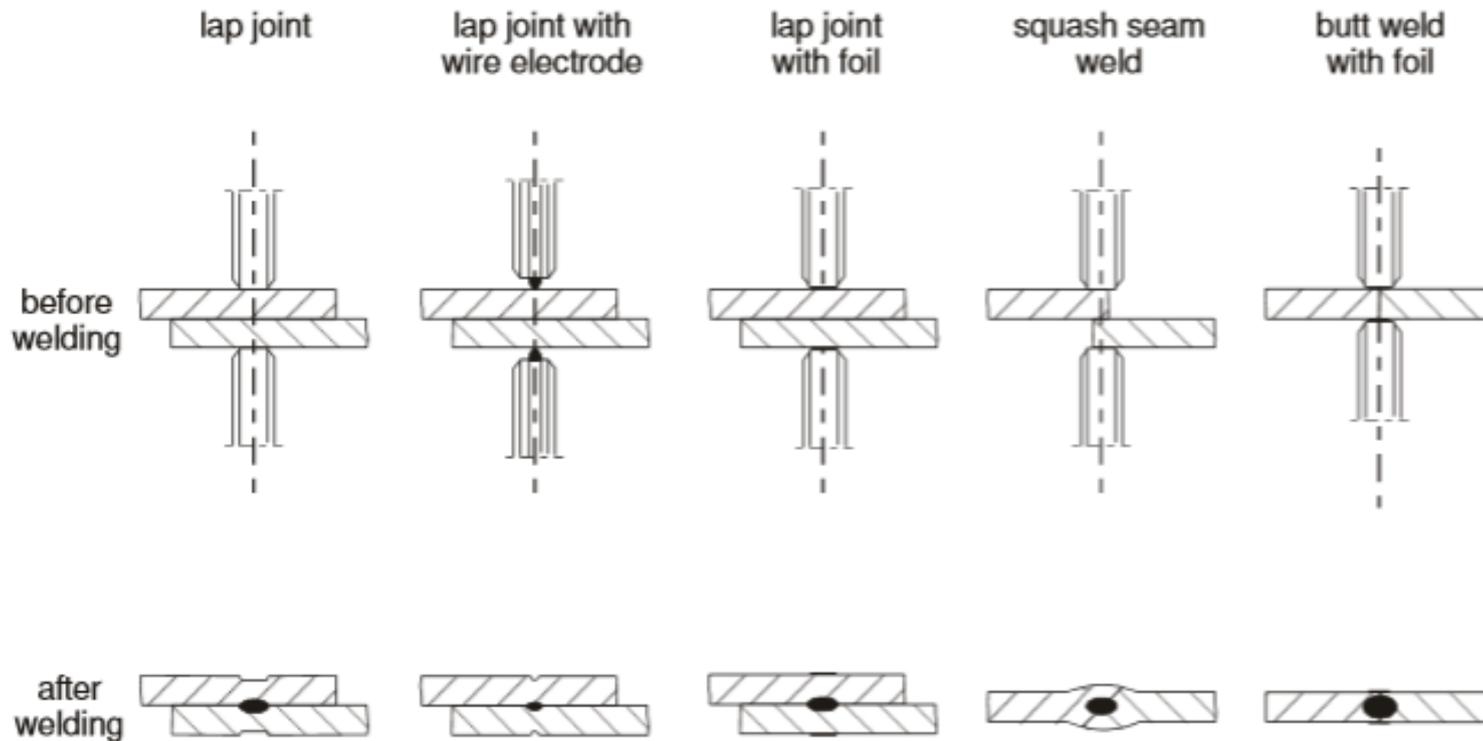


continuous D.C. seal weld



Soldagem por resistência elétrica

- ▶ Tipos de soldagem por resistência





Soldagem por resistência elétrica

► Vantagens

- Rápida e fácil de ser executada
- Não necessita de gases de proteção e similares
- Não necessita e material de adição
- Não tem chamas, arcos e outras fontes de calor perigosas
- Operador não precisa ser treinado
- Pode ser automatizada
- Alta produtividade (200 pontos de solda / 6 seg. na indústria automobilística)
- Versatilidade de materiais



Soldagem por resistência elétrica

► Vantagens

- Soldagem de chapas finas
- Soldagem de múltiplas chapas em uma única operação



Soldagem por resistência elétrica

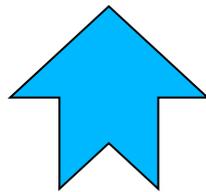
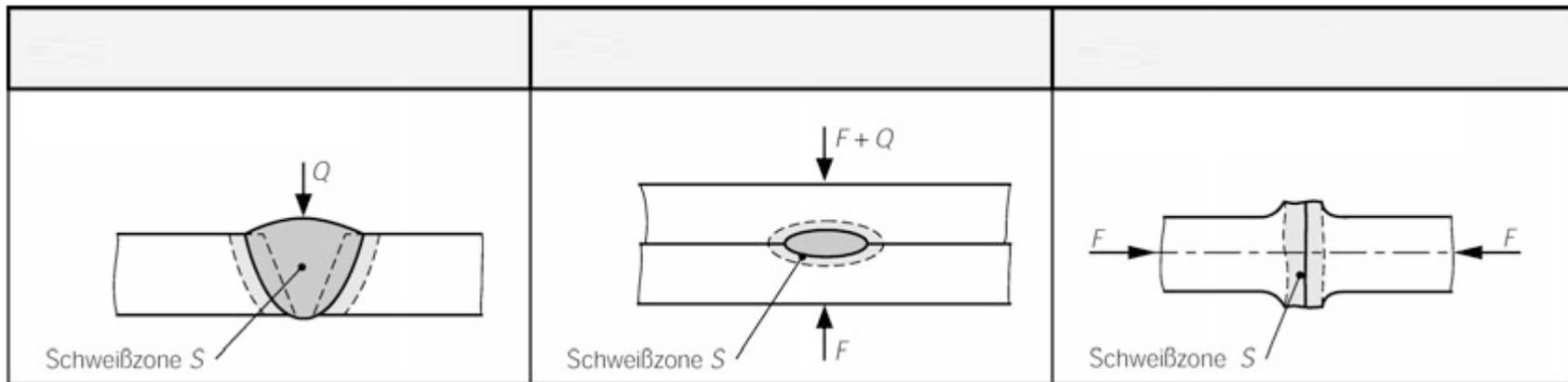
► Desvantagens

- Cria pontos de soldagem e não juntas contínuas
- Os pontos de soldagem tem menor resistência do que os obtidos em outros processos
- Resistencia da solda depende da temperatura, da pressão aplicadas, da limpeza das superfícies, da forma e tamanho dos eletrodos
- Os pontos de soldagem tornam-se concentradores de tensão, gerando problemas de fadiga
- Tem limitações geométricas, acesso por ambos os lados a serem unidos
- Necessidade de cabos longos

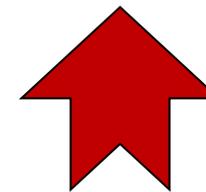
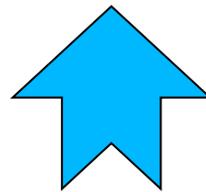


Soldagem por atrito

- ▶ Tipos de soldagem por resistência



- ▶ Soldagem ER,
AS, TIG, MIG,
MAG, Plasma,
FE, Laser





Soldagem por atrito

- ▶ Soldagem por atrito ou *friction weld* (FW)
- ▶ A soldagem por atrito é um processo de união por estado sólido no qual a união é produzida através da coalescência dos materiais, utilizando calor gerado pelo atrito e a aplicação e pressão externa
- ▶ A qualidade da solda se equivale ao forjamento,
- ▶ Em condições normais não há fusão de material
- ▶ Materiais de adição e gases e insumos de proteção não são necessários



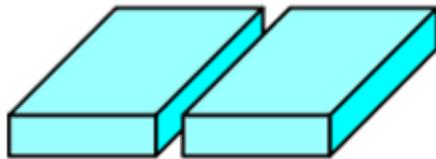
Projeto de juntas soldadas

- ▶ Projeto de juntas soldadas se refere a forma como as peças a serem soldadas são posicionadas e alinhadas entre si de forma a garantir a máxima resistência, penetração, menor consumo de material e custo.

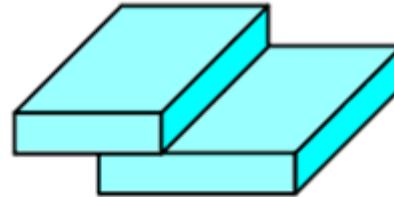


Projeto de juntas soldadas

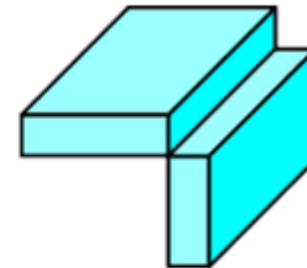
- ▶ Existem cinco tipos principais de juntas soldadas



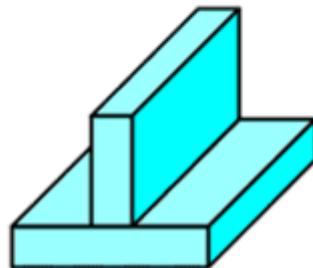
Face ou topo



Sobrepostas



em ângulo



em T

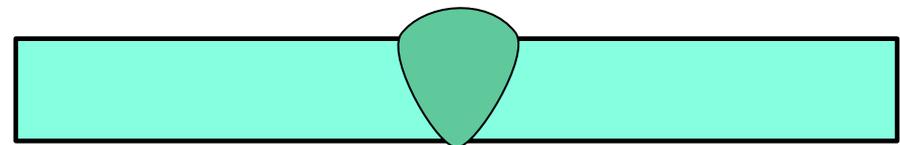
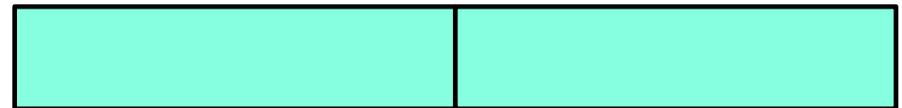
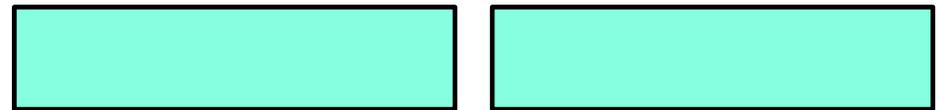
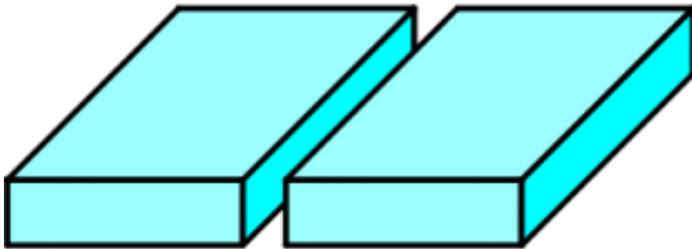


de face em ângulo



Projeto de juntas soldadas

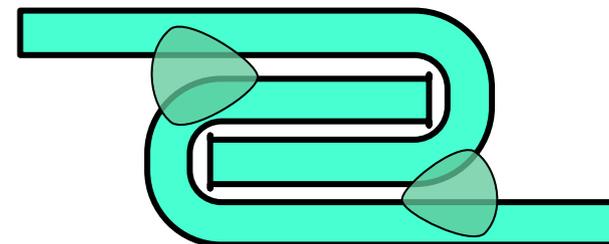
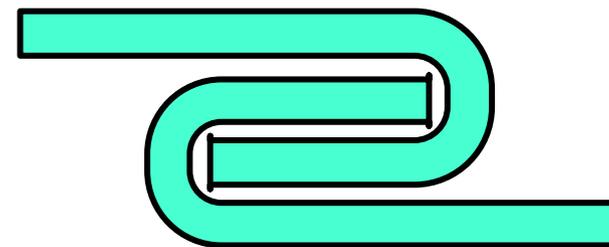
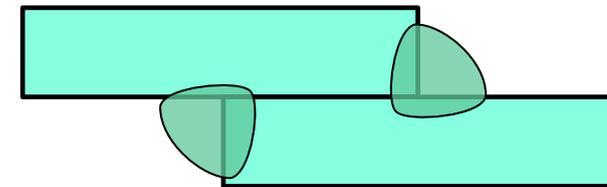
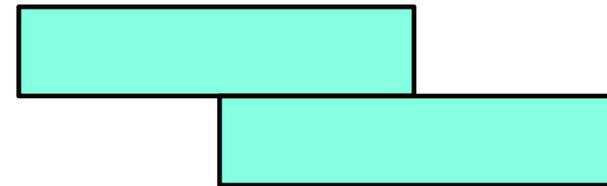
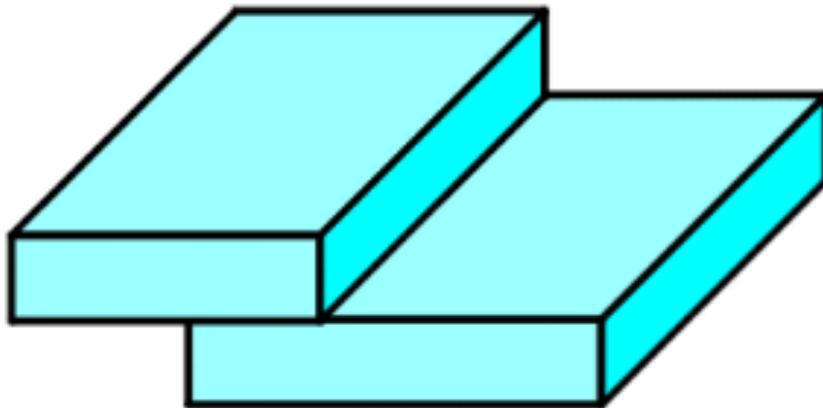
► Juntas de Face





Projeto de juntas soldadas

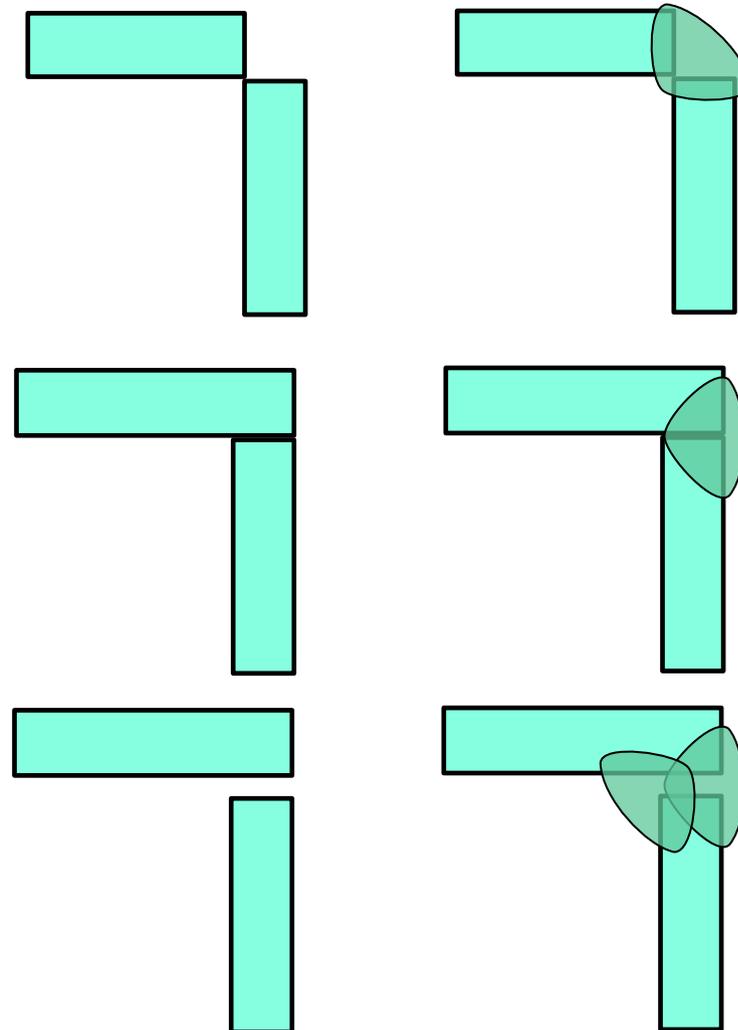
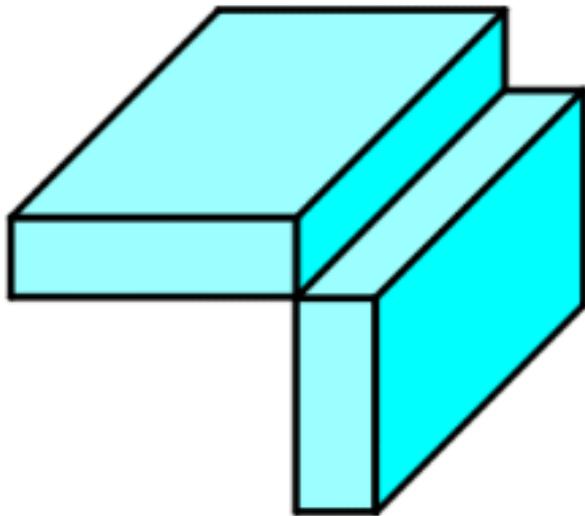
► Juntas sobrepostas





Projeto de juntas soldadas

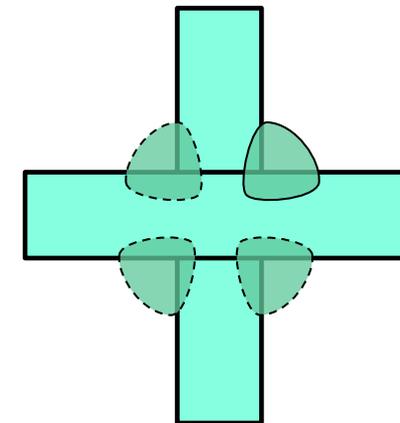
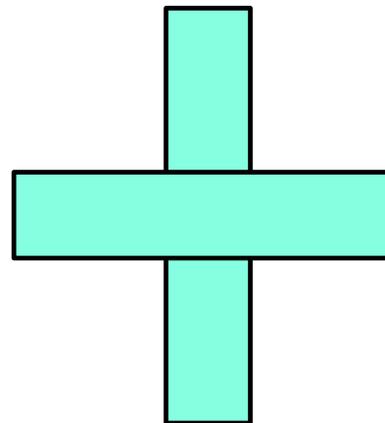
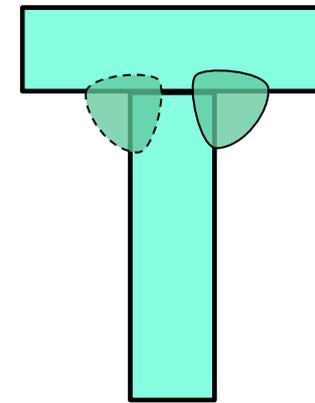
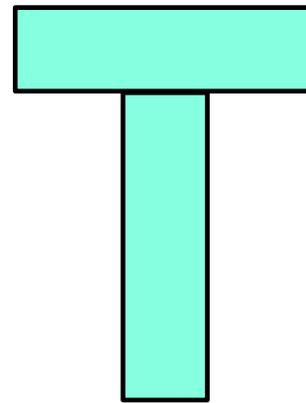
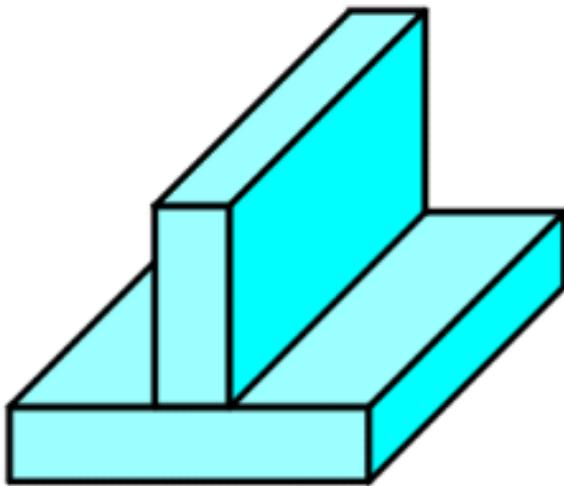
► Juntas de canto





Projeto de juntas soldadas

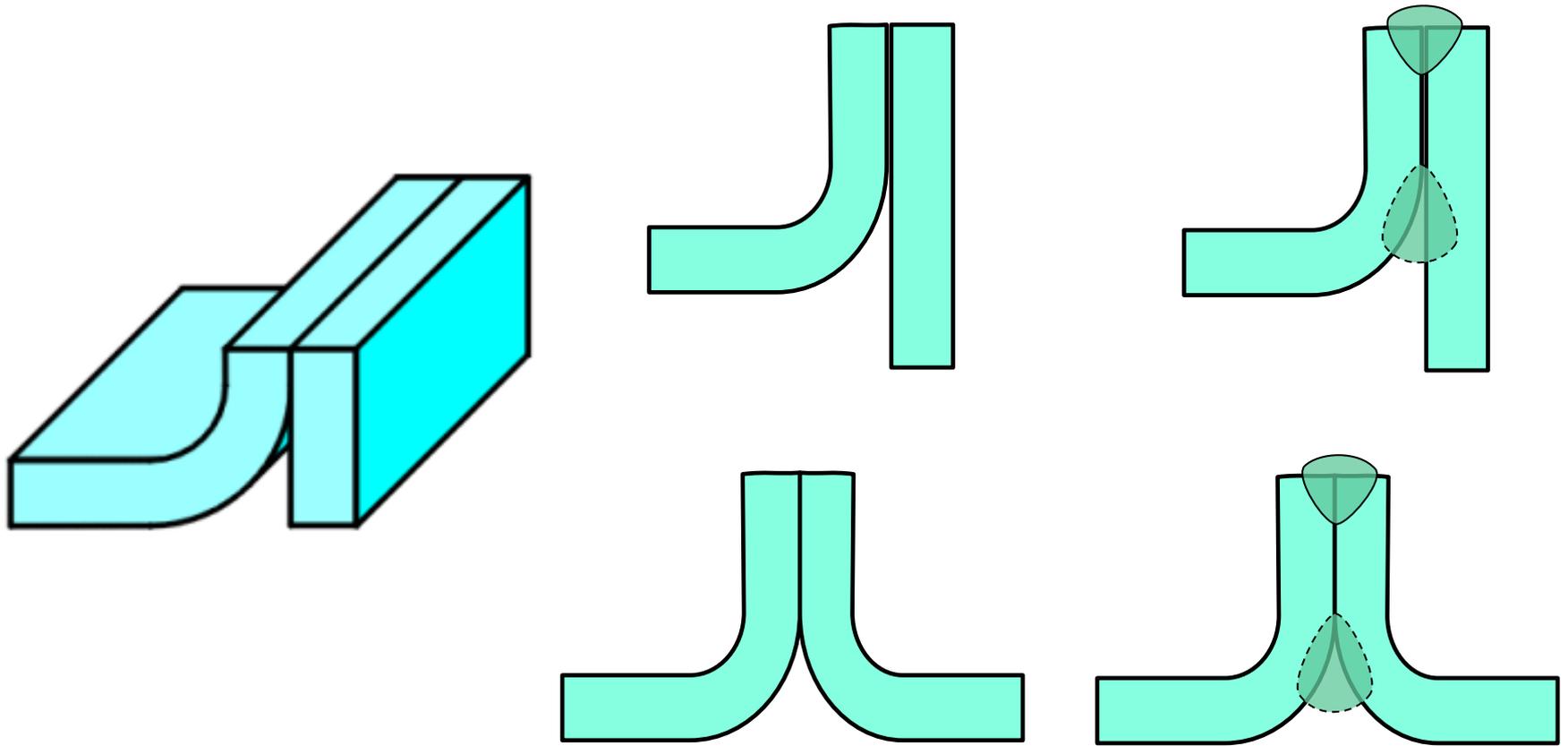
► Juntas em T





Projeto de juntas soldadas

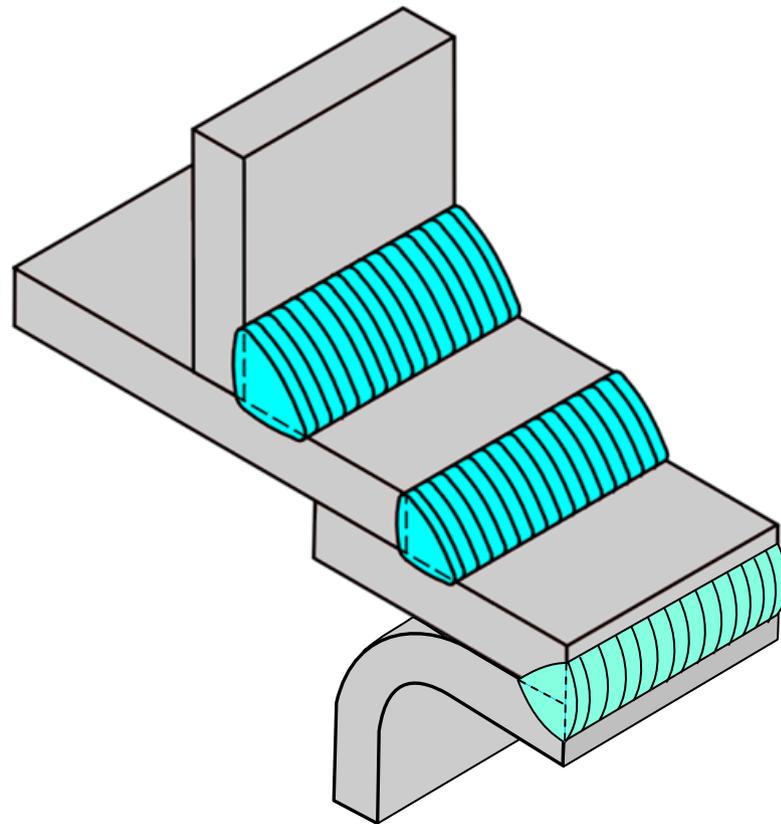
- ▶ Juntas de face em ângulo





Projeto de juntas soldadas

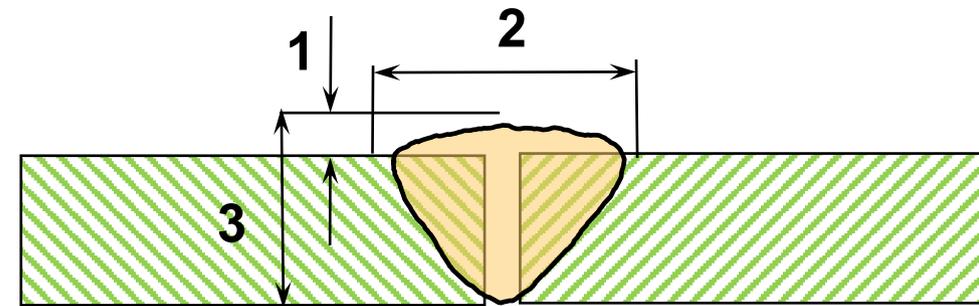
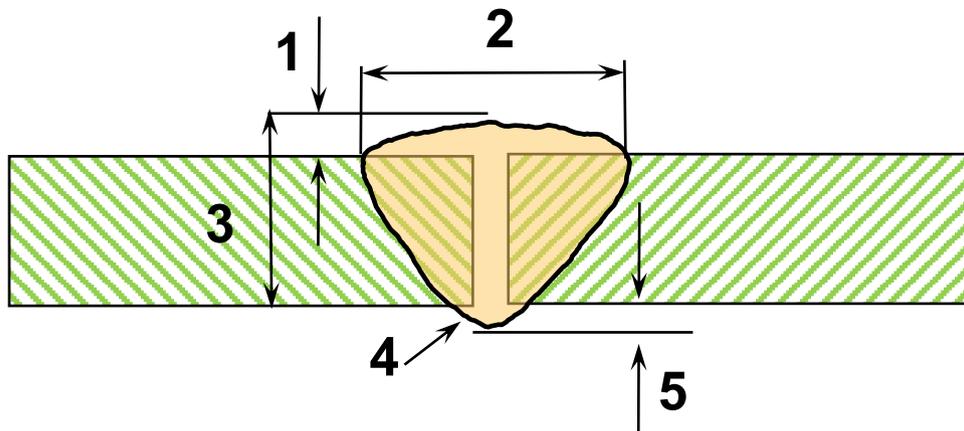
- ▶ Juntas compostas





Projeto de juntas soldadas

► Denominações da juntas soldadas

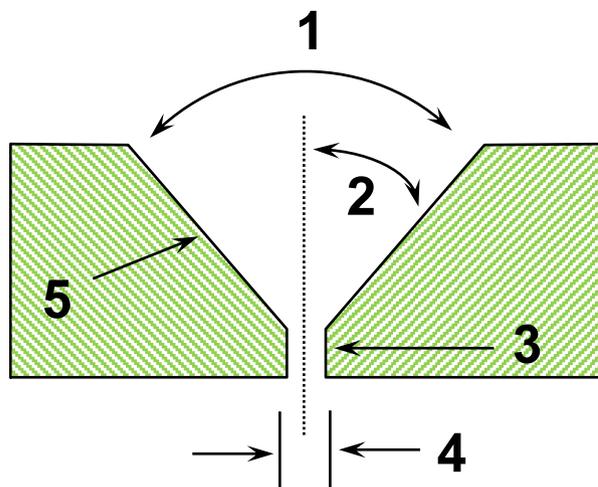


- 1 - Reforço da solda
- 2 - Largura do cordão
- 3 - Penetração
- 4 - Raiz
- 5 - Reforço da raiz

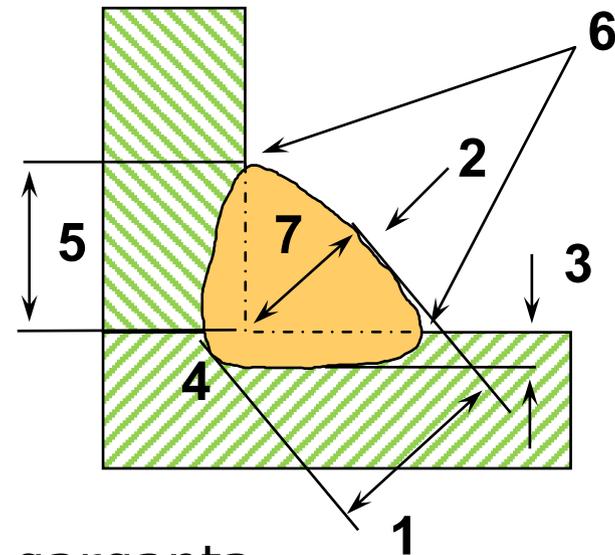


Projeto de juntas soldadas

► Denominações da juntas soldadas



- 1 - ângulo do chanfro
- 2 - ângulo da face
- 3 - largura da face da raiz
- 4 - folga da raiz
- 5 - face do chanfro

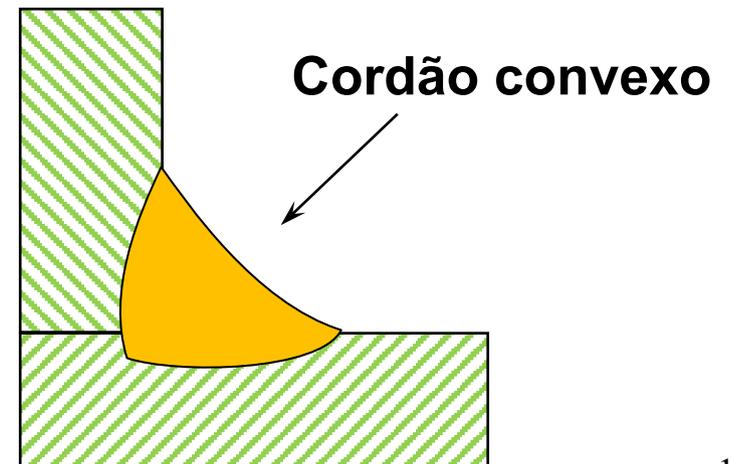
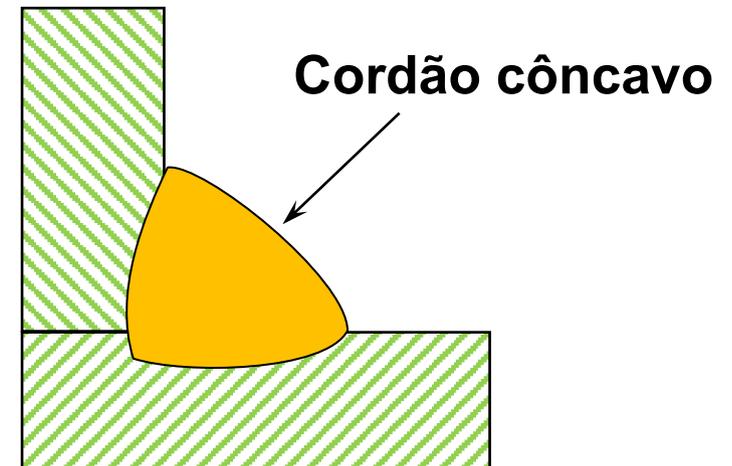
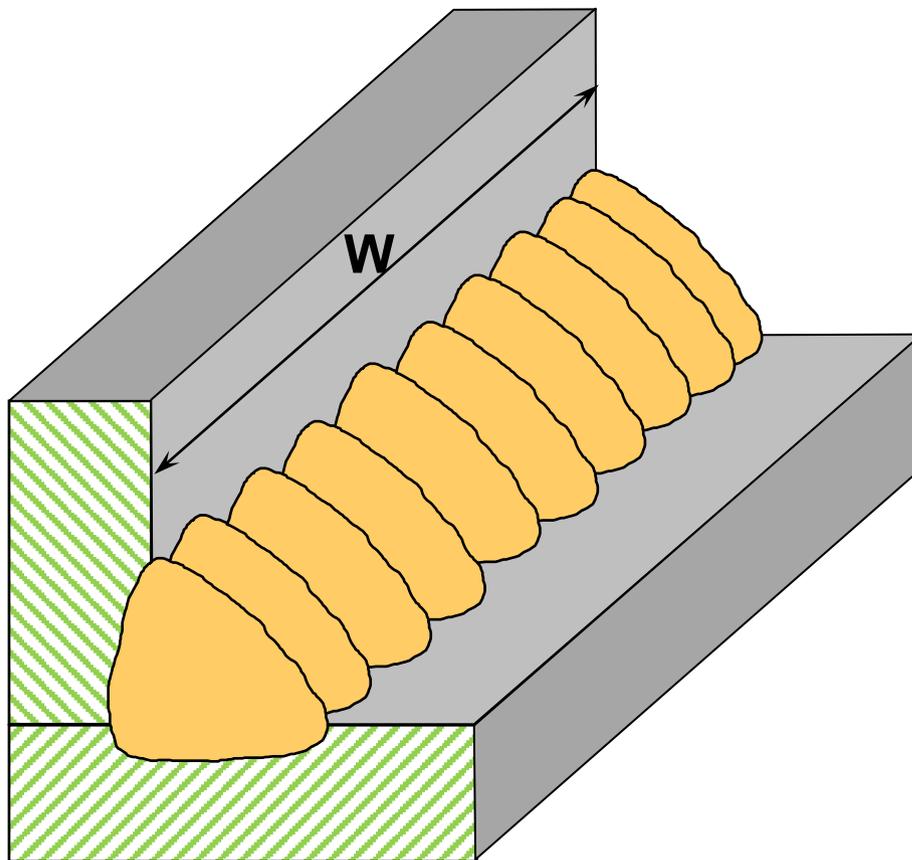


- 1 - garganta
- 2 - face do cordão de solda
- 3 - profundidade de fusão
- 4 - raiz
- 5 - perna
- 6 - largura da solda
- 7 - garganta teórica



Projeto de juntas soldadas

► Denominações da juntas soldadas





Projeto de juntas soldadas

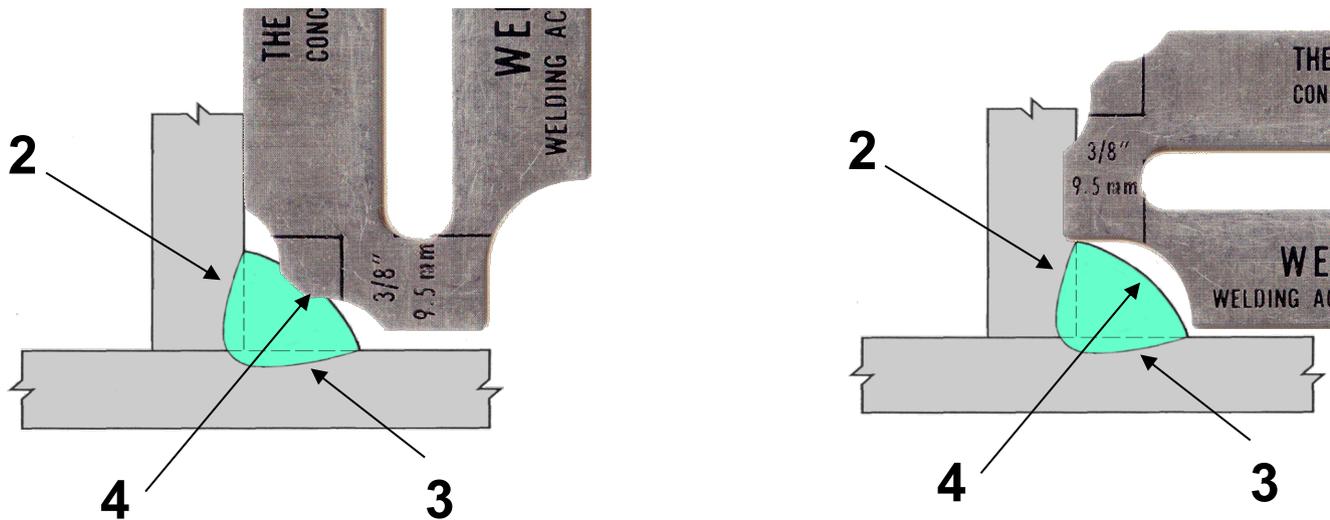
- ▶ Avaliação da junta soldada





Projeto de juntas soldadas

► Avaliação da junta soldada



1. Selecionar o padrão adequado
2. Medir a altura da perna 1
3. Medir a altura da perna 2
4. Verificar a dimensão do pescoço



Projeto de juntas soldadas

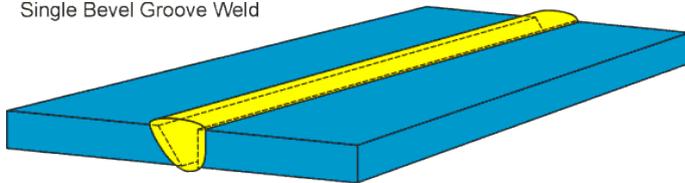
- ▶ Considerações para seleção do tipo de juntas soldadas
 - ▶ Acessibilidade a junta
 - ▶ Resistência requerida
 - ▶ Tipo de carregamento – estático ou dinâmico
 - ▶ Espessura da chapa metálica
 - ▶ Processo de soldagem a ser empregado
 - ▶ Material
 - ▶ Requisitos de
 - ▶ Custo



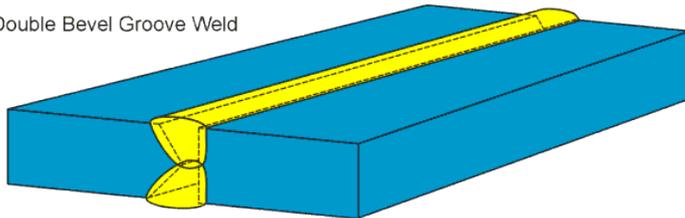
Projeto de juntas soldadas

► Preparação das juntas soldadas

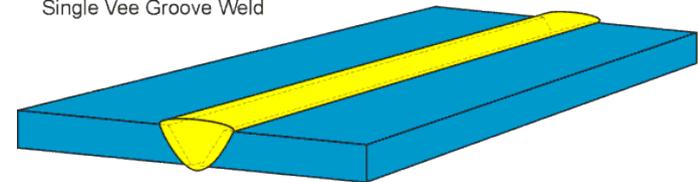
Single Bevel Groove Weld



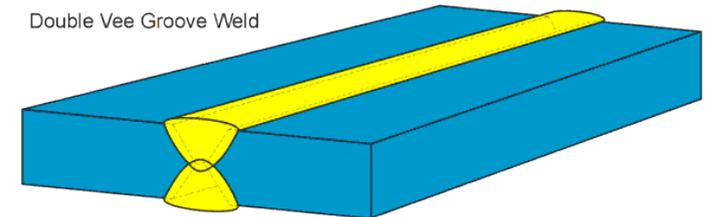
Double Bevel Groove Weld



Single Vee Groove Weld



Double Vee Groove Weld



► Chanfrada / plana



► Chanfrada em V

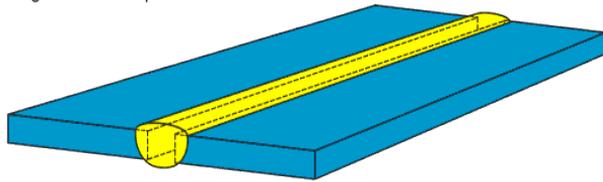




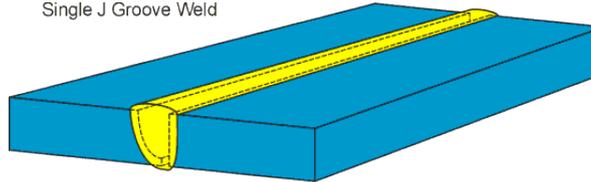
Projeto de juntas soldadas

► Preparação das juntas soldadas

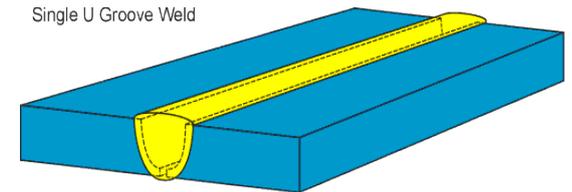
Single Welded Square Groove Weld



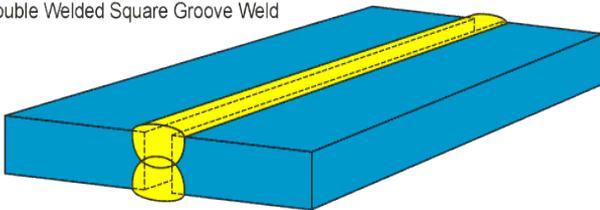
Single J Groove Weld



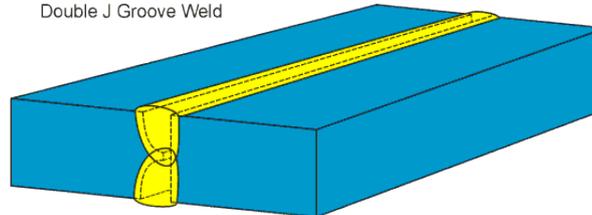
Single U Groove Weld



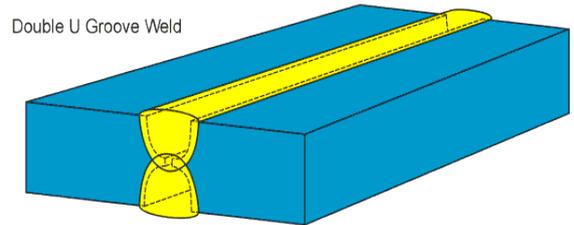
Double Welded Square Groove Weld



Double J Groove Weld



Double U Groove Weld



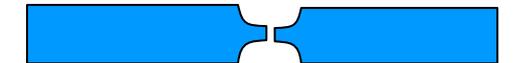
► face



► J



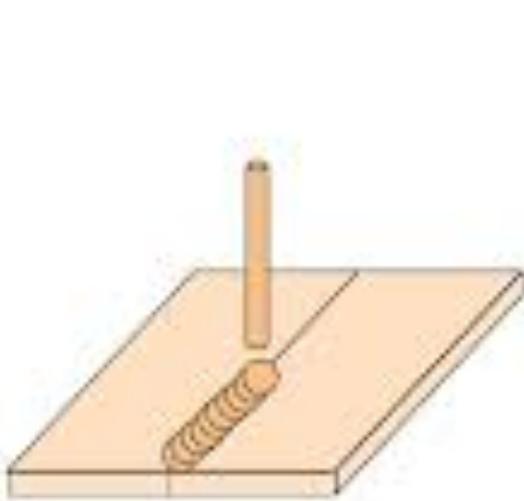
► U



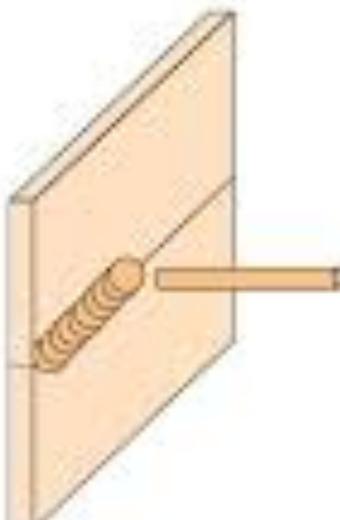


Projeto de juntas soldadas

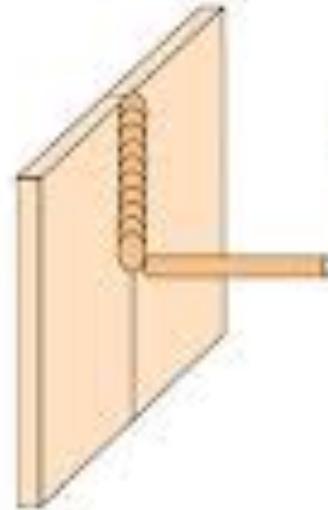
► Posições de soldagem



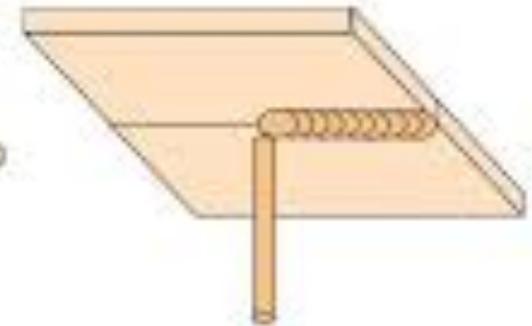
► plana



► horizontal



► vertical



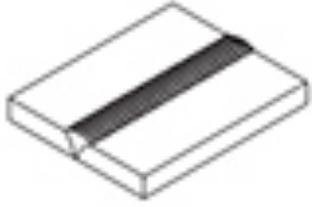
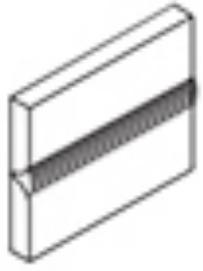
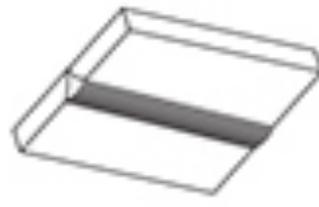
► sobre cabeça



Projeto de juntas soldadas

► Posições de soldagem - ASME

SOLDA DE TOPO

	PLANA	HORIZONTAL	VERTICAL	SOBRE-CABEÇA
CHAPAS	 PA - ASME 1G	 PC - ASME 2G	 PG ↓ PF ↑ ASME 3Gd ↓ 3Gu ↑	 PE - ASME 4G
TUBOS	 PA - ASME 1G (Tubo Rodando)	 PC - ASME 2G (Tubo Fixo)	 PG ↓ PF ↑ ASME 5Gd ↓ 5Gu ↑ (Tubo Fixo)	



Projeto de juntas soldadas

► Posições de soldagem - ASME

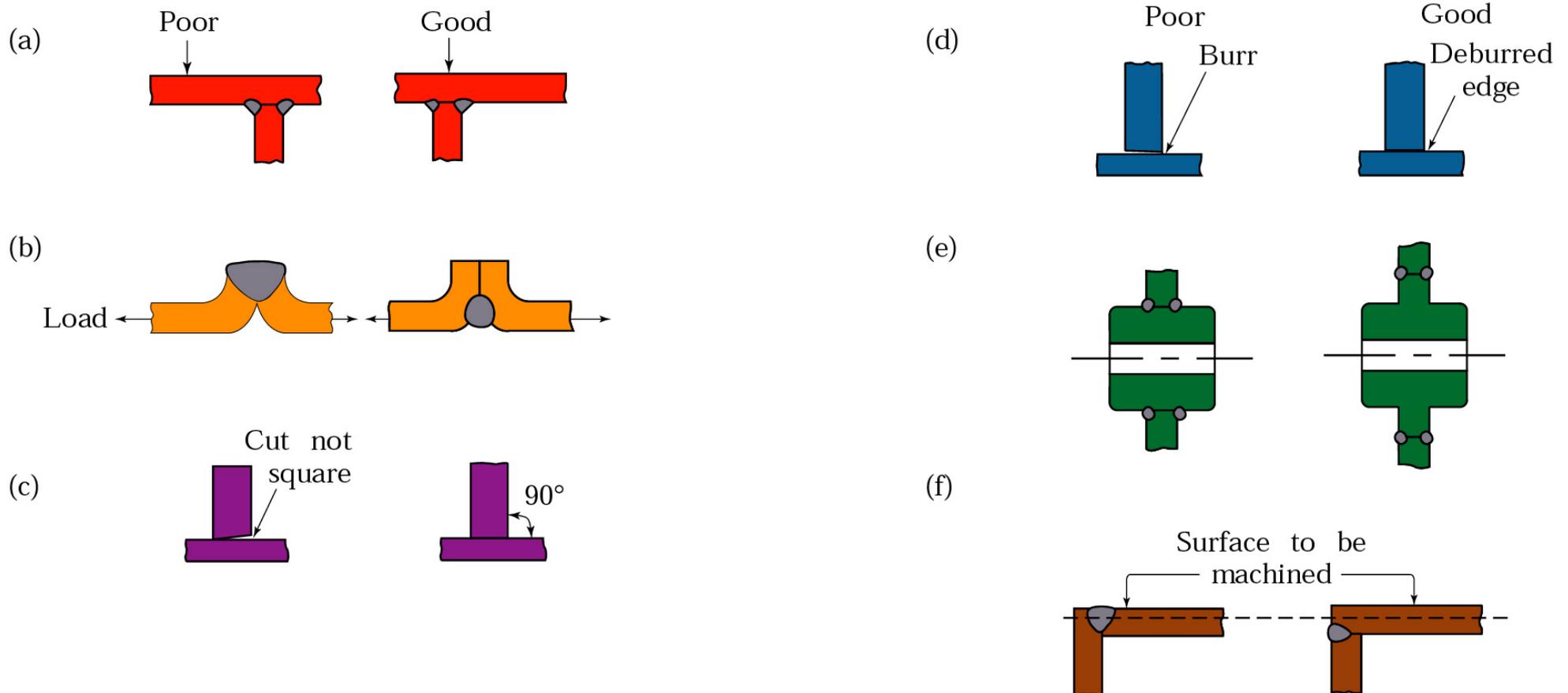
SOLDA DE FILETE

PLANA	HORIZONTAL	VERTICAL	SOBRE-CABEÇA
<p>PA - ASME 1F</p>	<p>PB - ASME 2F</p>	<p>PG ↓ PF ↑ ASME 3Fd ↓ 3Fu ↑</p>	<p>PA - ASME 1G</p>
<p>PB - ASME 2F (Tubo Rodando)</p>	<p>PB - ASME 2F (Tubo Fixo)</p>	<p>PG ↓ PF ↑ ASME 5Fd ↓ 5Fu ↑ (Tubo Fixo)</p>	<p>PD - ASME 4F (Tubo Fixo)</p>



Projeto de juntas soldadas

► Recomendações de projeto



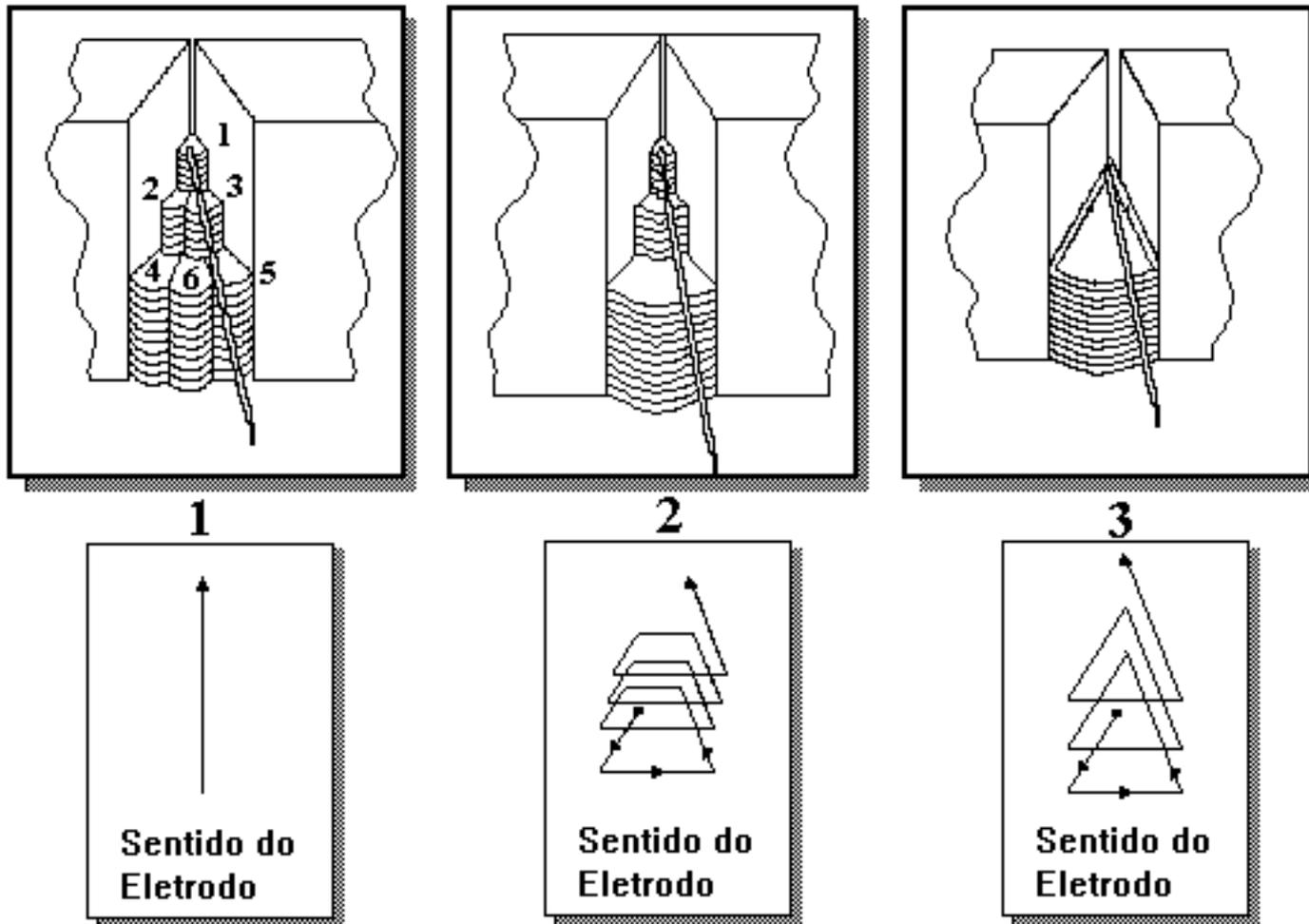
Fonte: J. G. Bralla (ed.), *Handbook of Product Design for Manufacturing*.

Copyright ©1986, McGraw-Hill Publishing Company.



Projeto de juntas soldadas

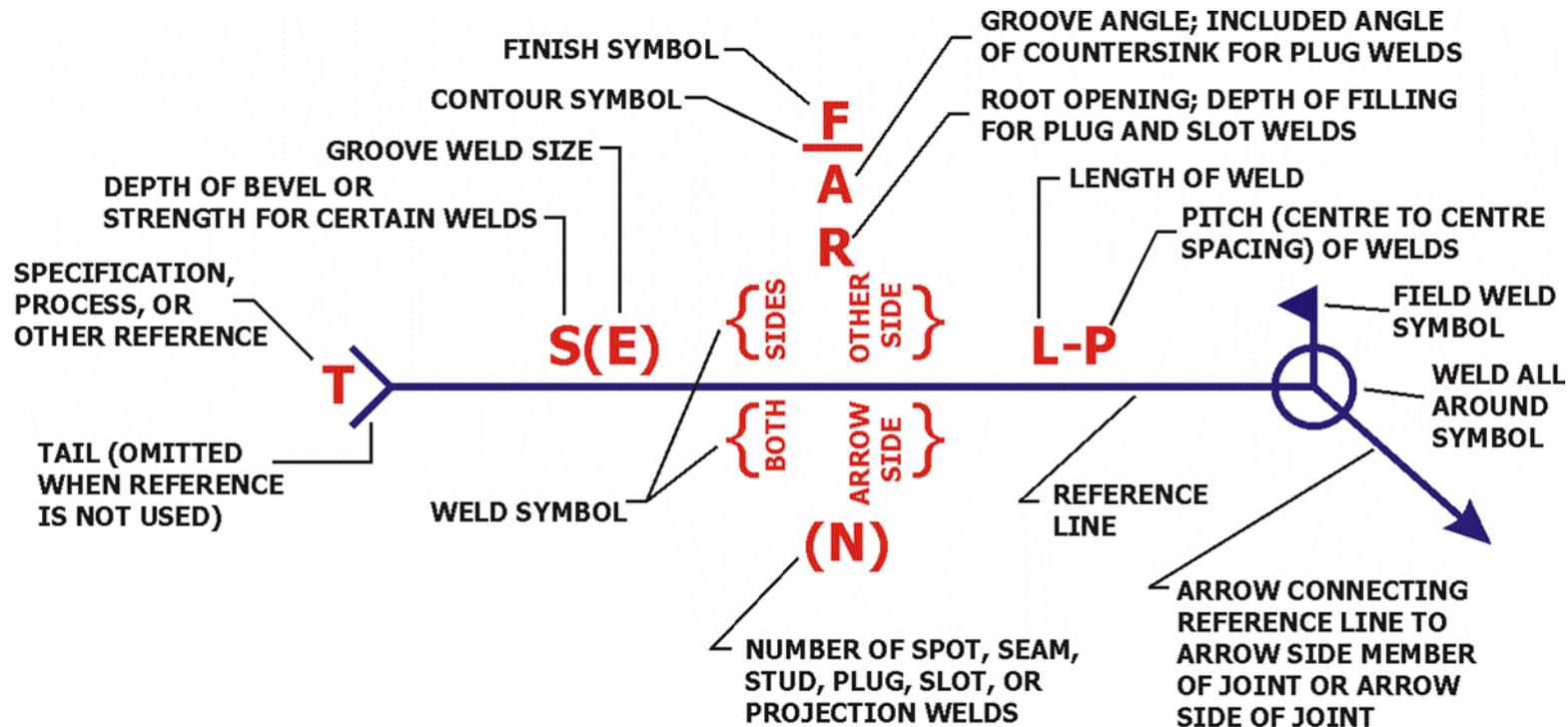
- Composição e preenchimento do cordão de solda





Indicação de junta soldada

► Segunda o ASME



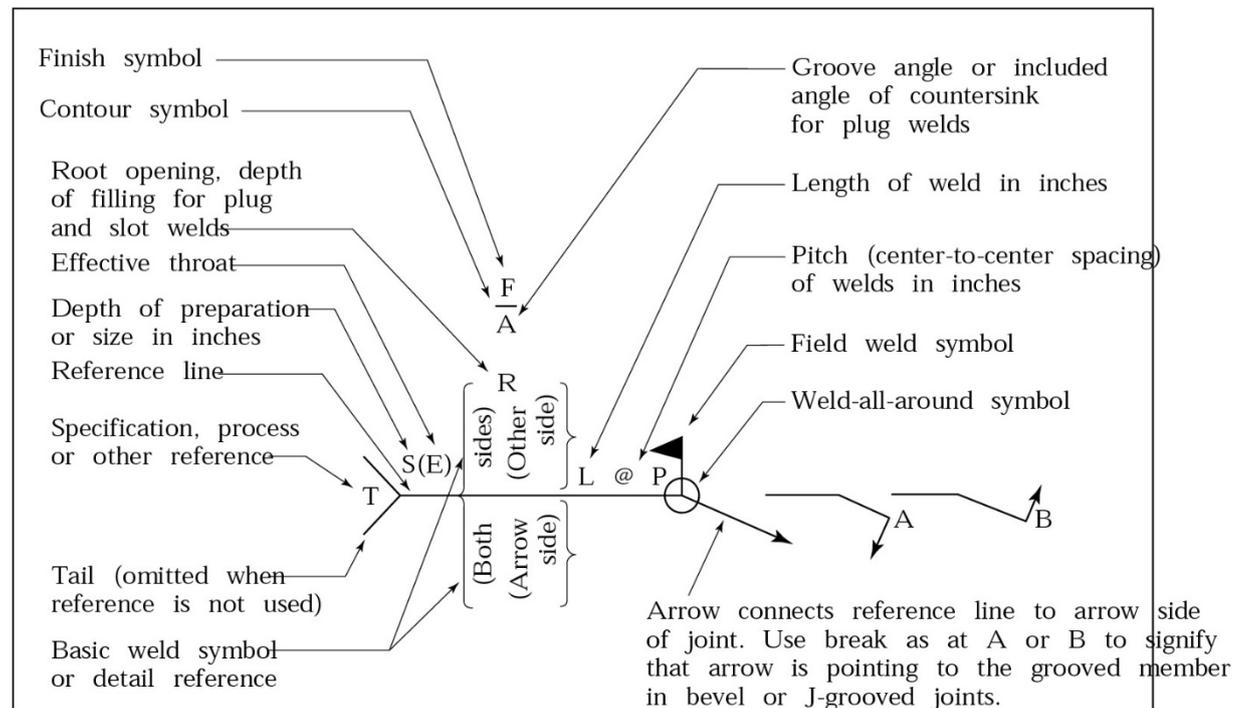


Indicação de junta soldada

► Segunda o ASME

Basic arc and gas weld symbols							
Bead	Fillet	Plug or slot	Groove				
			Square	V	Bevel	U	J

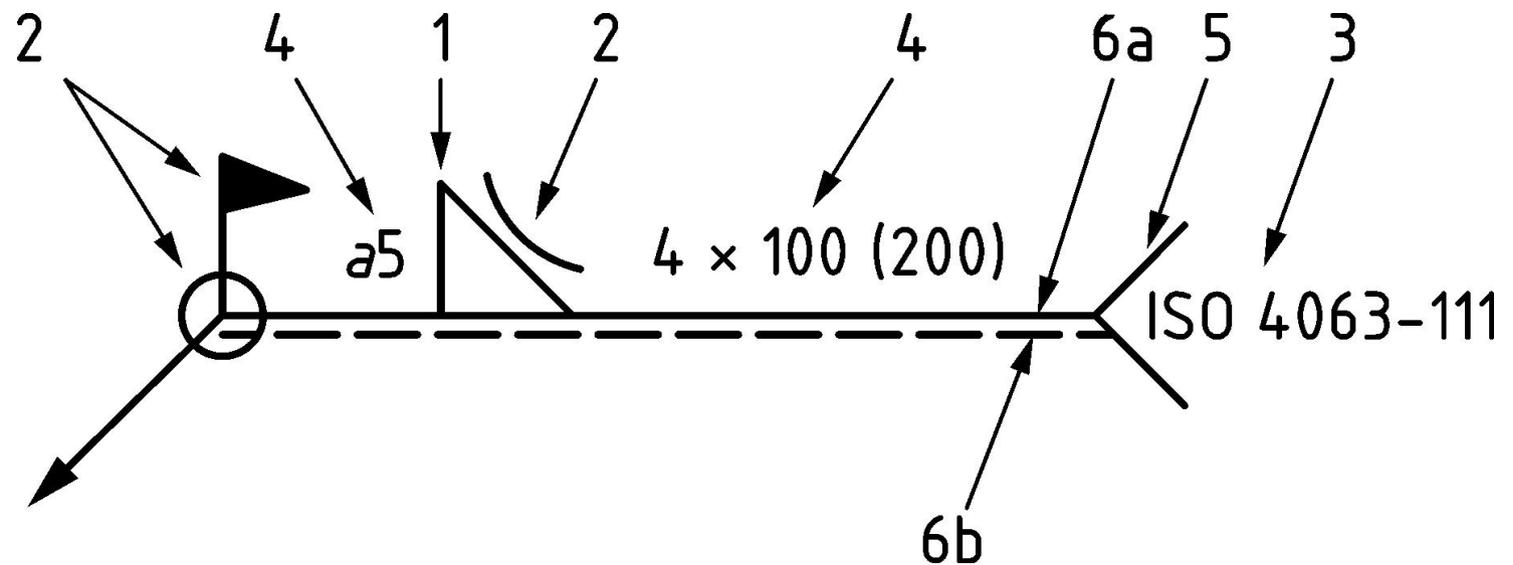
Basic resistance weld symbols			
Spot	Projection	Seam	Flash or upset





Indicação de junta soldada

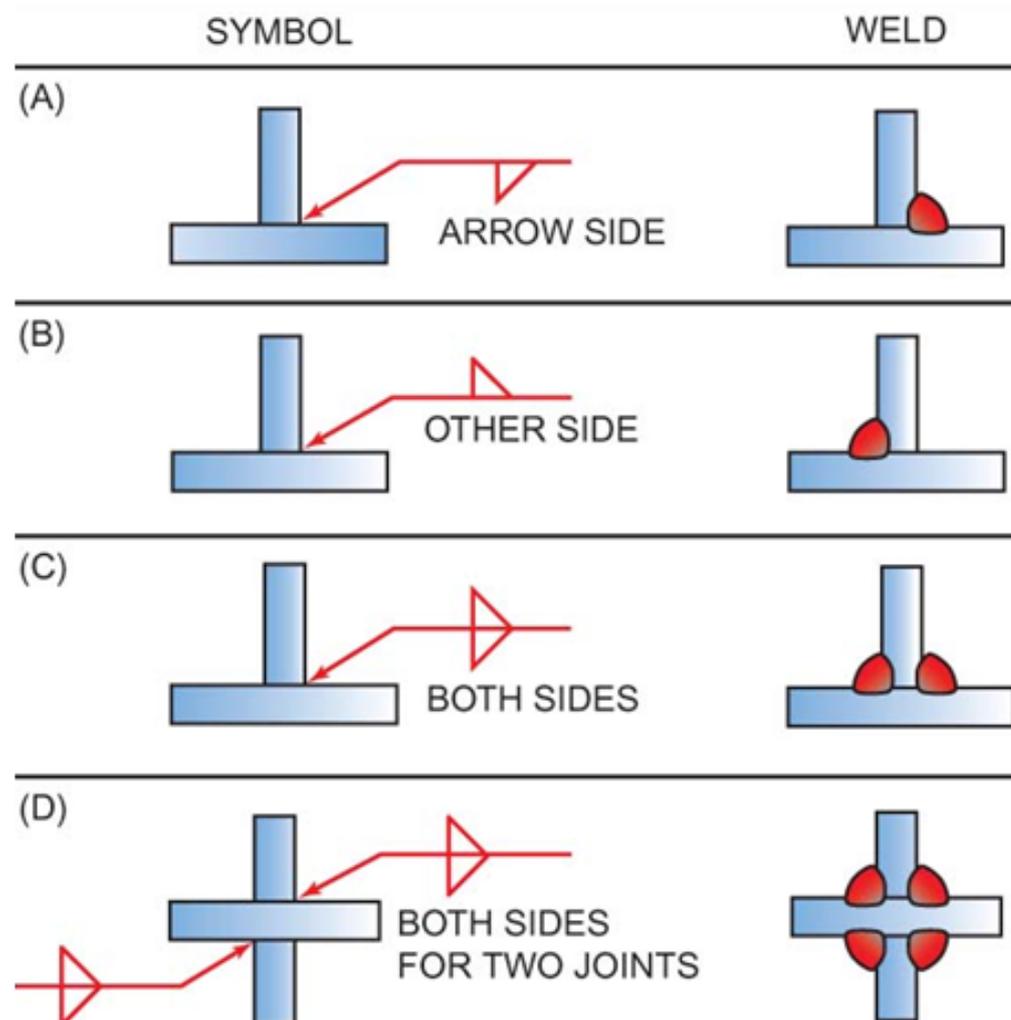
- ▶ Segunda o ISO





Projeto de juntas soldadas

- ▶ Símbolos de referencia aplicados a base





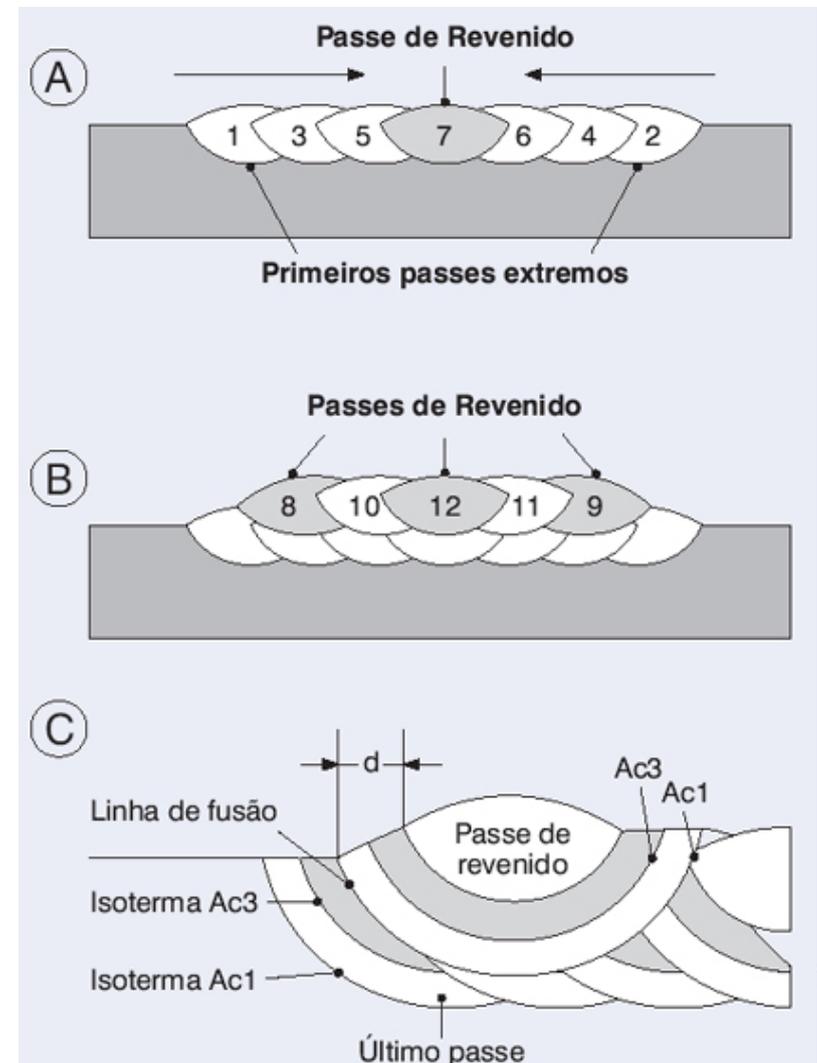
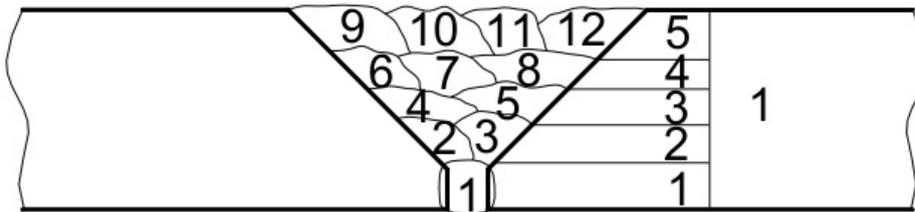
Projeto de juntas soldadas

- Composição e preenchimento do cordão de solda

1 Cordão de solda

5 Camadas

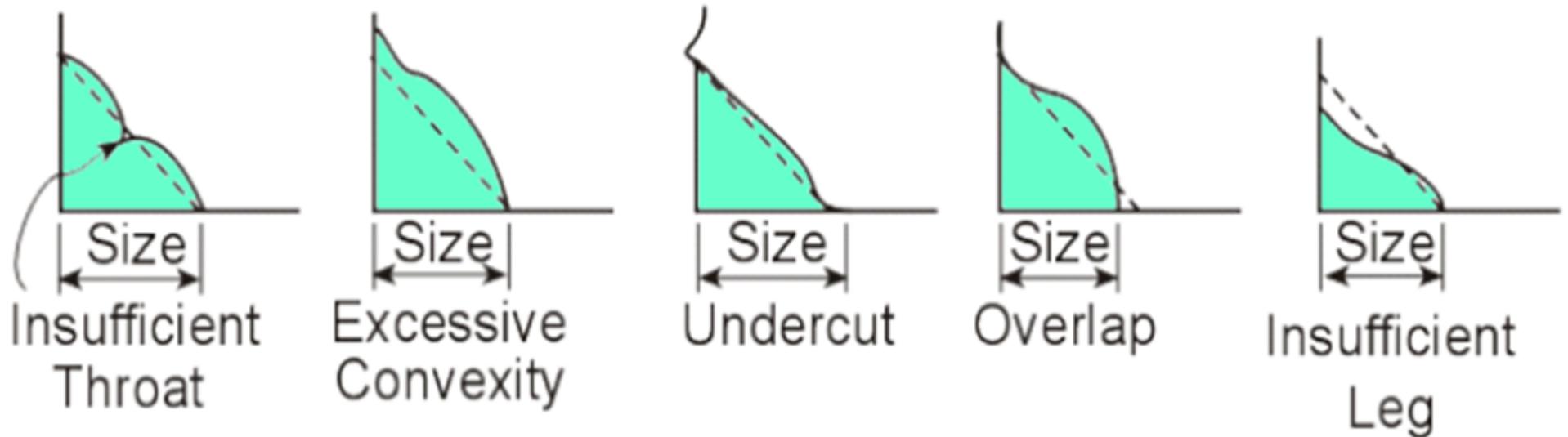
12 Passes





Defeitos de juntas soldadas

► Principais defeitos





Defeitos de juntas soldadas

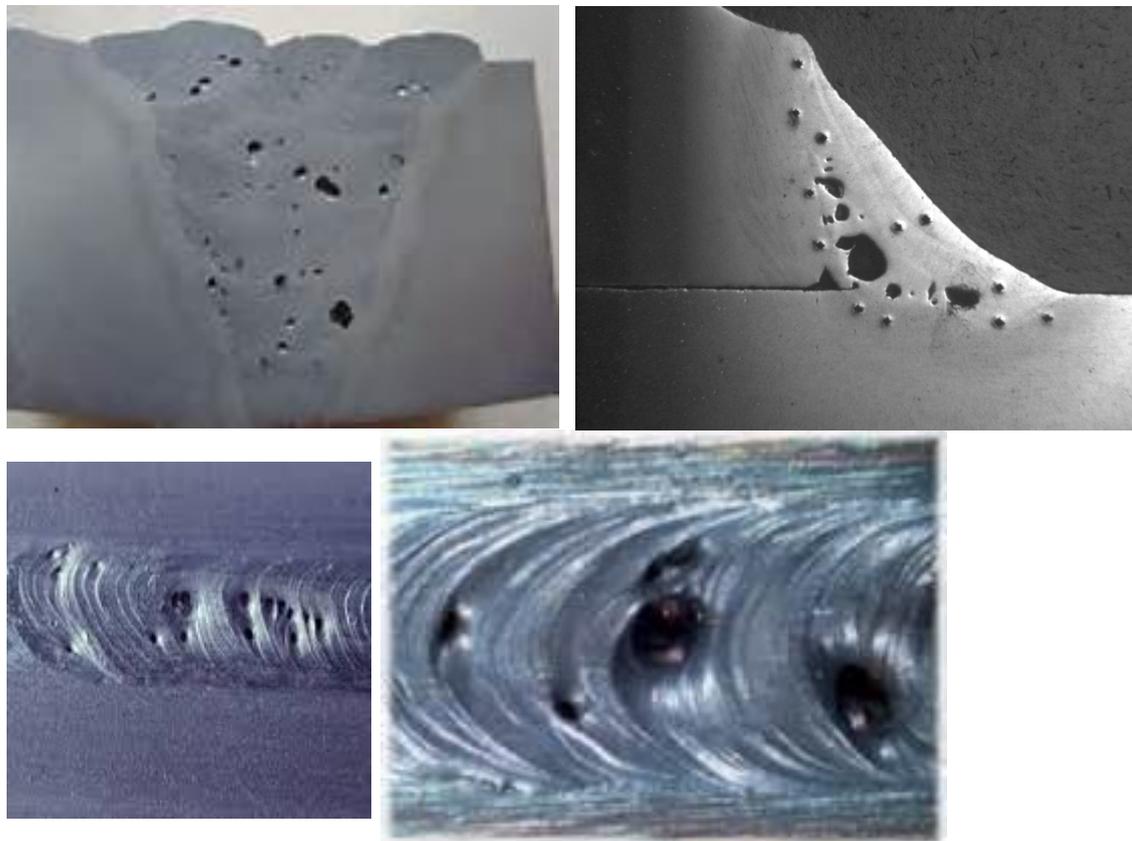
- ▶ Falta de penetração – é o defeito mais comum na soldagem
- ▶ Causas: arco muito curto, parâmetros inadequados, velocidade errada





Defeitos de juntas soldadas

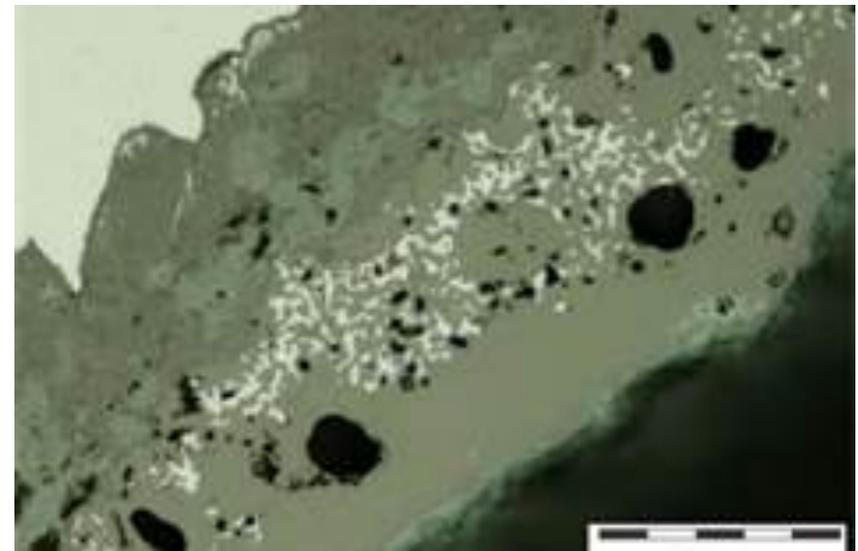
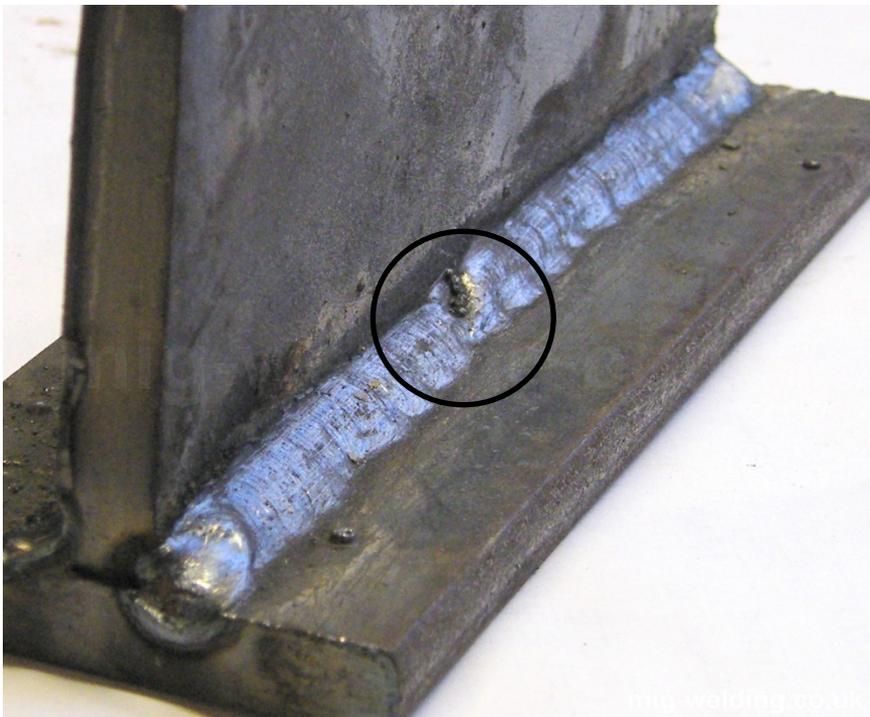
- ▶ Porosidade
- ▶ Causas: falha ou falta de gás de proteção, eletrodo milhado (caso for ER), contaminação da junta (ex. graxas)





Defeitos de juntas soldadas

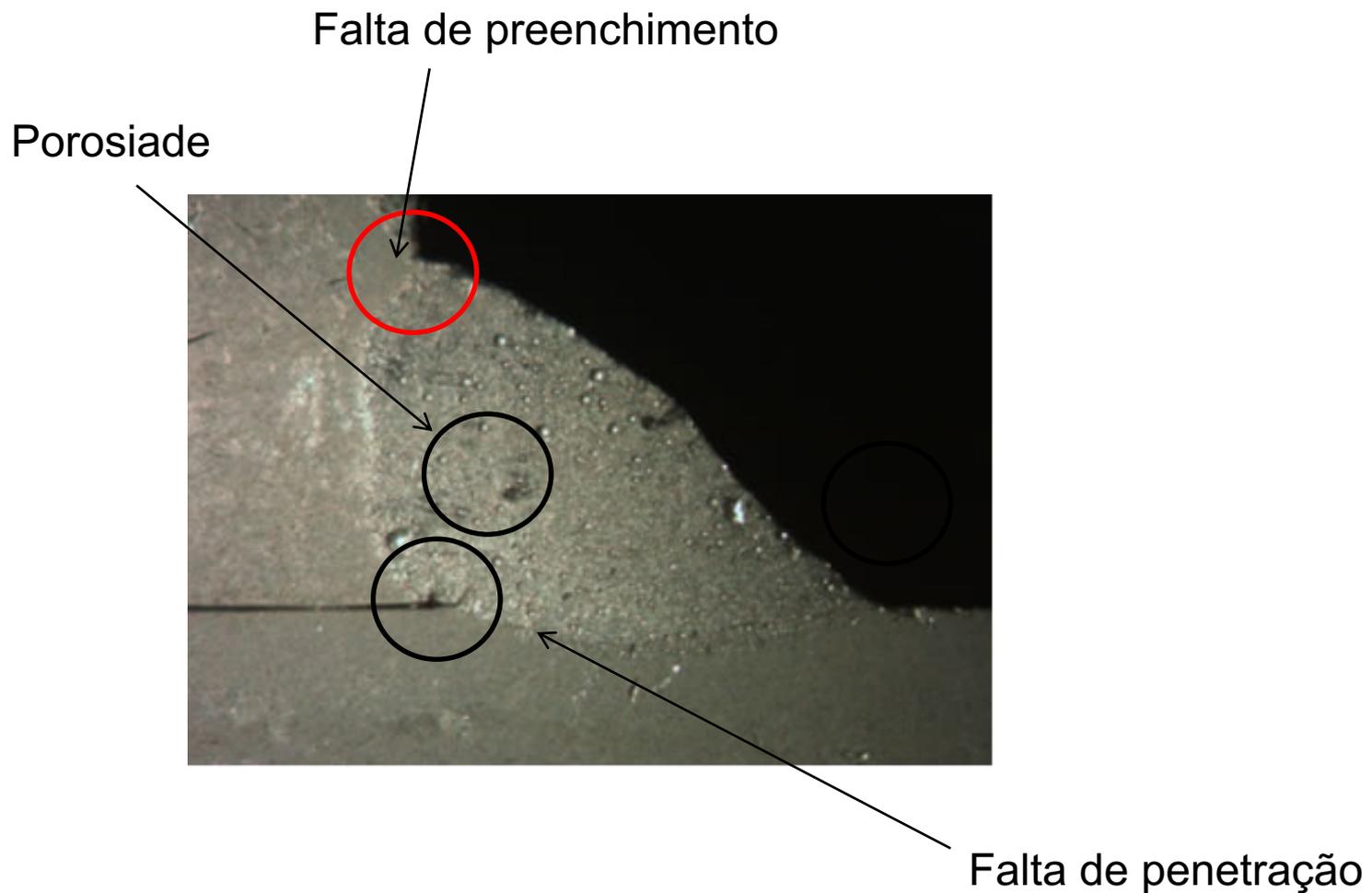
- ▶ Inclusão de escória
- ▶ Causas: limpeza incompleta





Defeitos de juntas soldadas

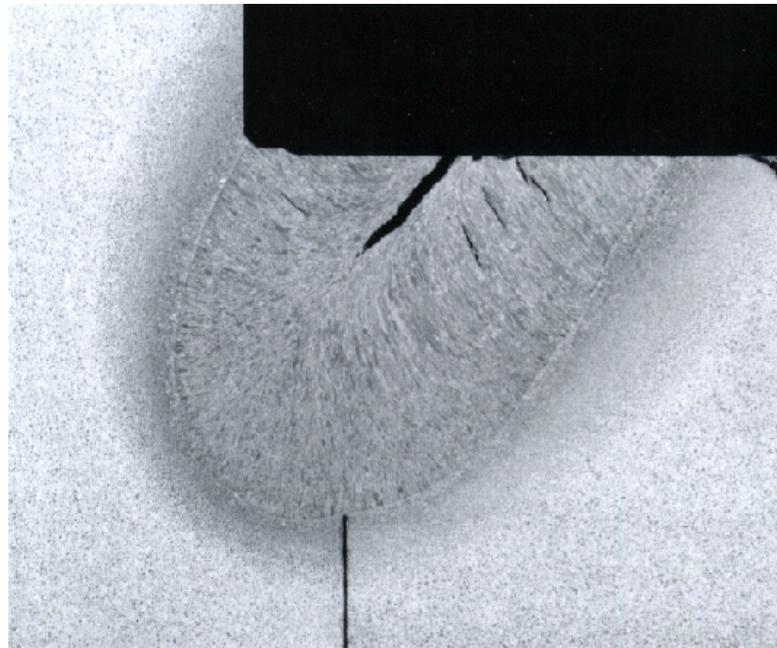
► Falta de penetração





Defeitos de juntas soldadas

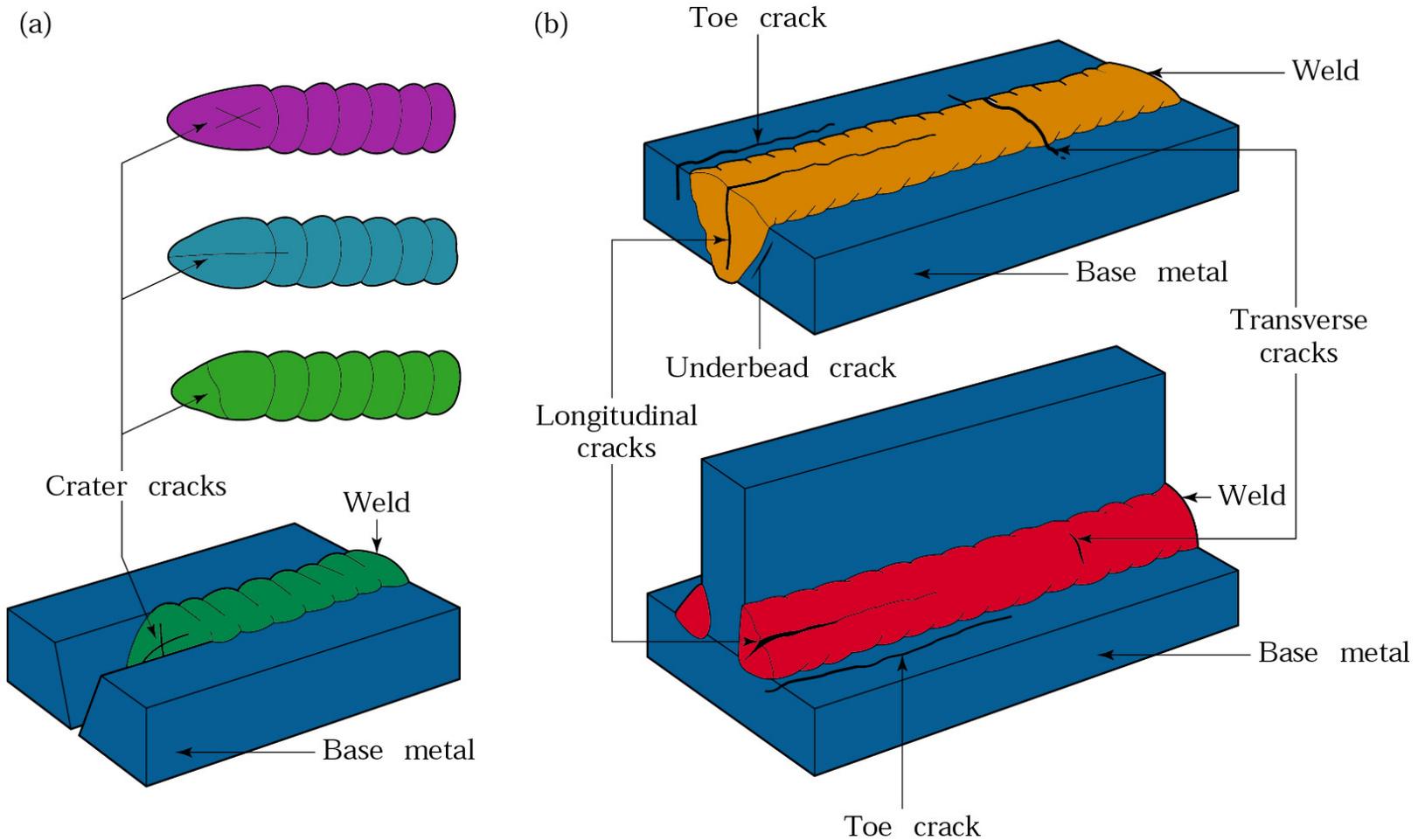
- ▶ Trincas
- ▶ Causas: solidificação muito rápida, contaminação por S e P, metal tem baixa resistência a alta temperatura, junta inadequada ou não preparada adequadamente





Defeitos de juntas soldadas

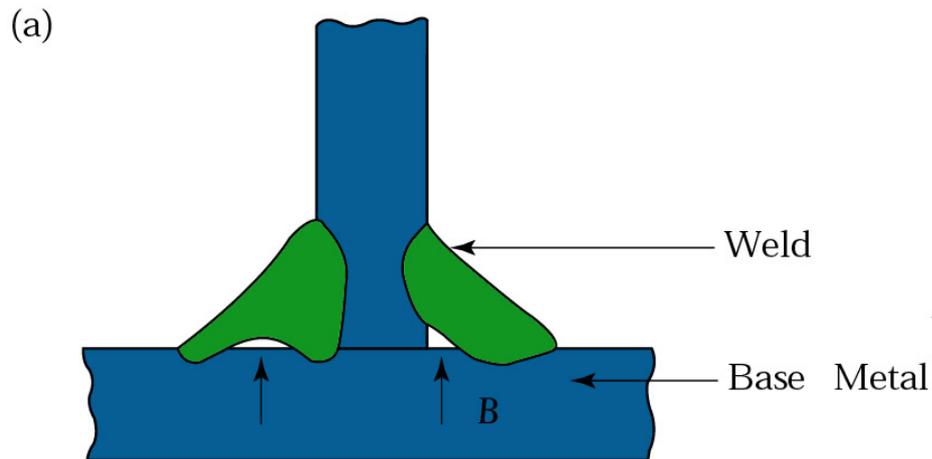
► Trincas



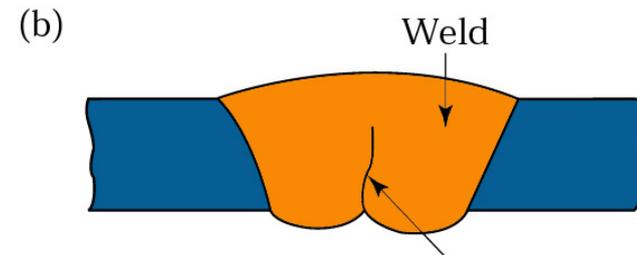


Defeitos de juntas soldadas

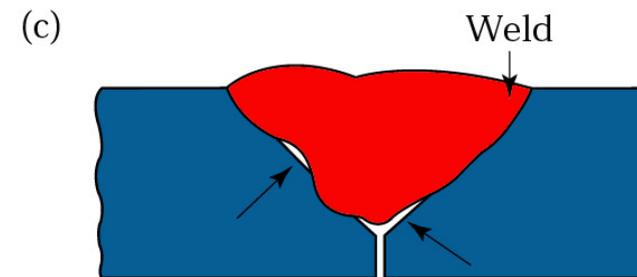
- ▶ Fusão incompleta
- ▶ Causas: parâmetros incorretos de soldagem



Incomplete fusion in fillet welds. B is often termed 'bridging'



Incomplete fusion from oxide or dross at the center of a joint, especially in aluminum

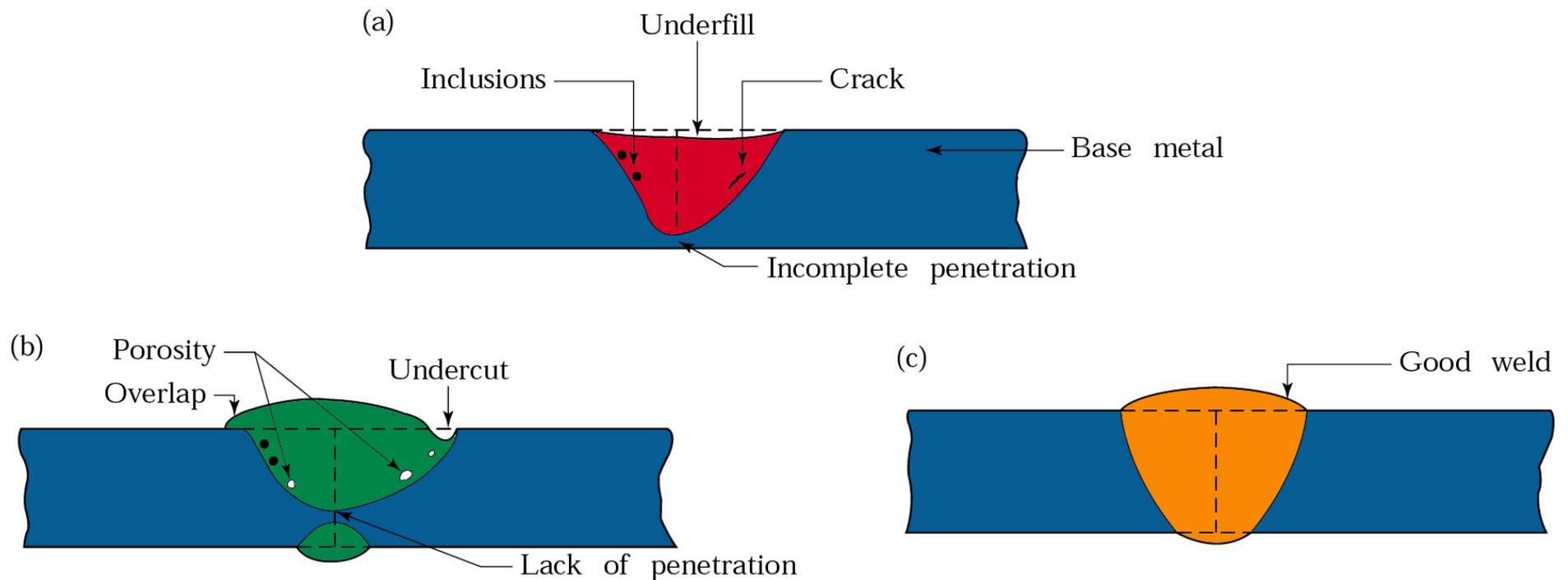


Incomplete fusion in a groove weld



Defeitos de juntas soldadas

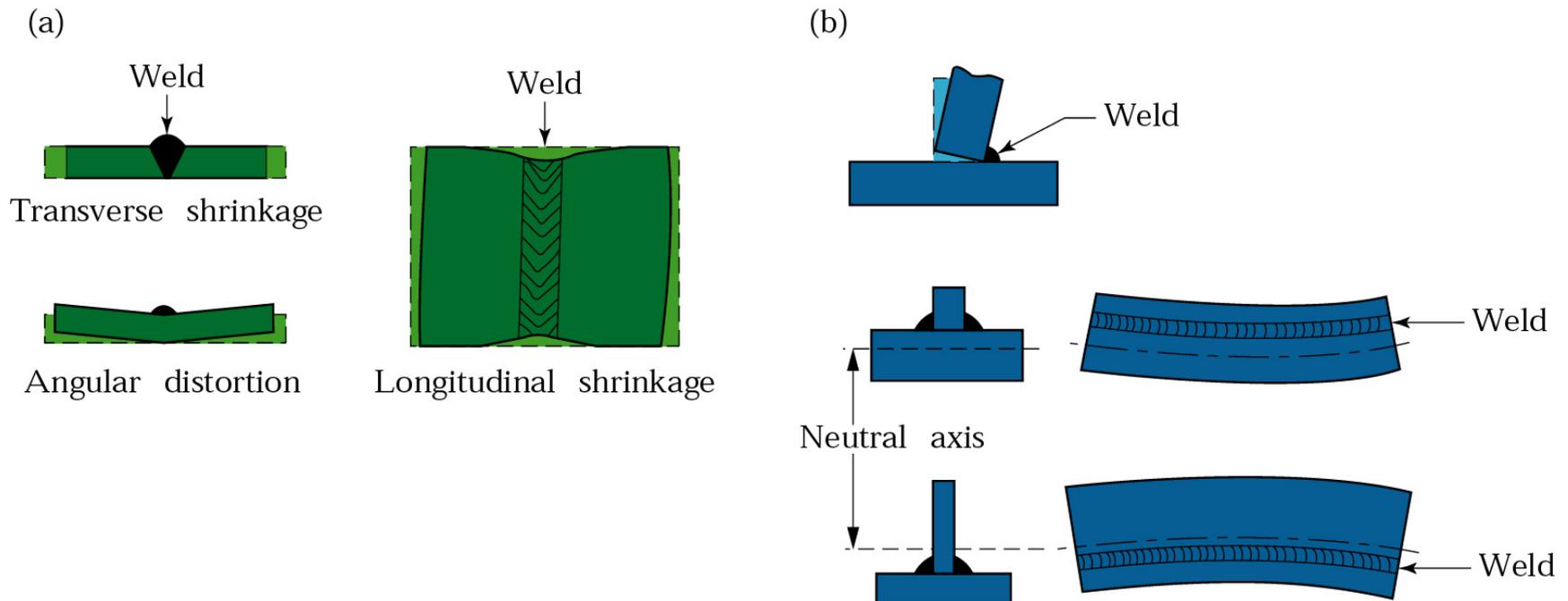
- ▶ Descontinuidades na fusão
- ▶ Causas: parâmetros incorretos





Defeitos de juntas soldadas

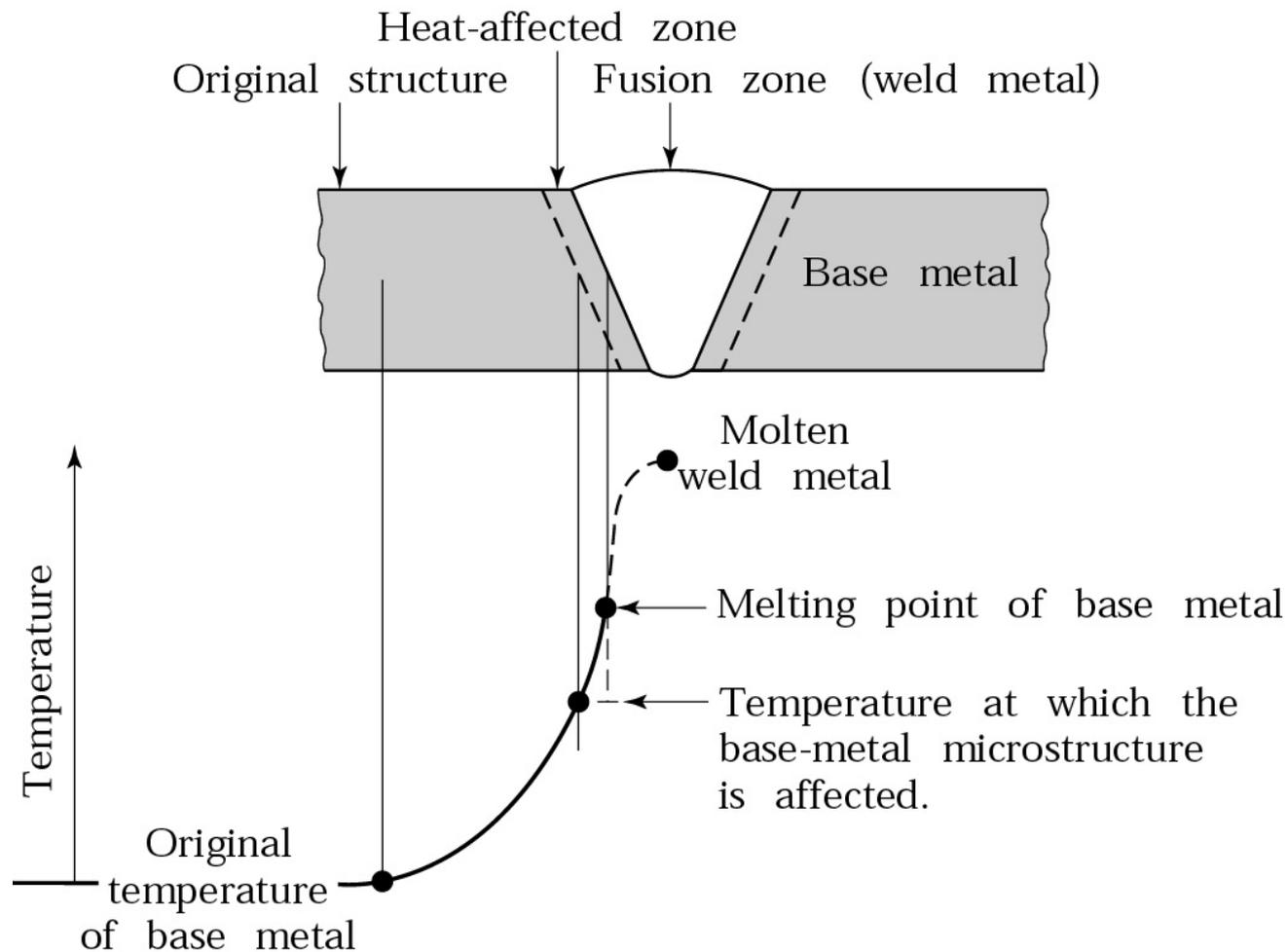
- ▶ Deformação após a soldagem
- ▶ Causas: expansão térmica diferencial entre os componentes soldados e diferentes taxas de resfriamento





Metalurgia da soldagem

- ▶ Típica zona de fusão na soldagem oxiacetileno e a arco elétrico

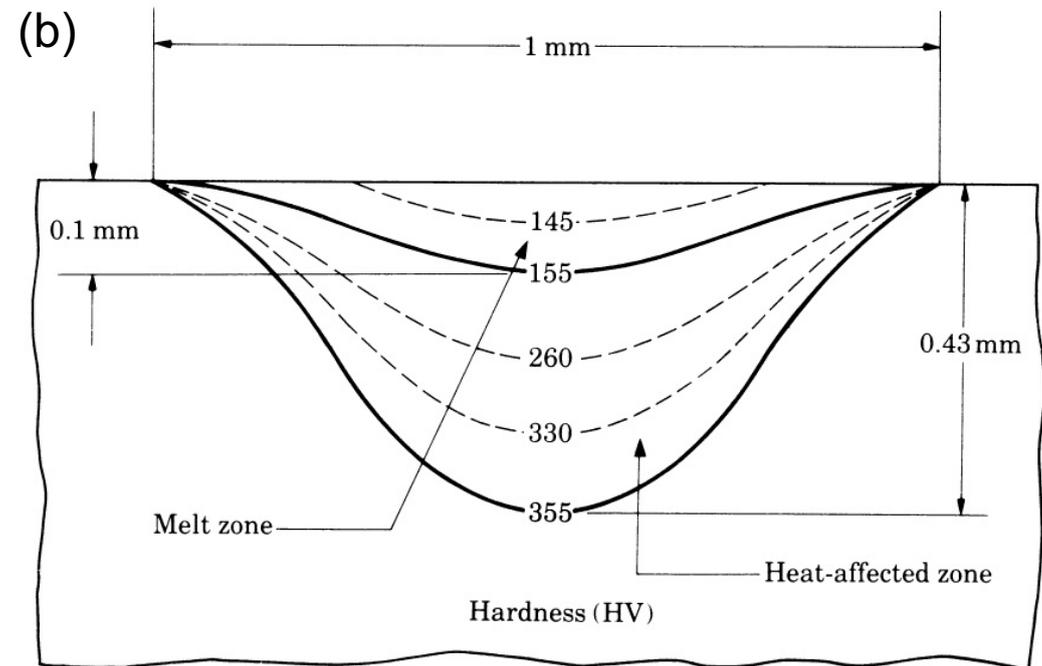
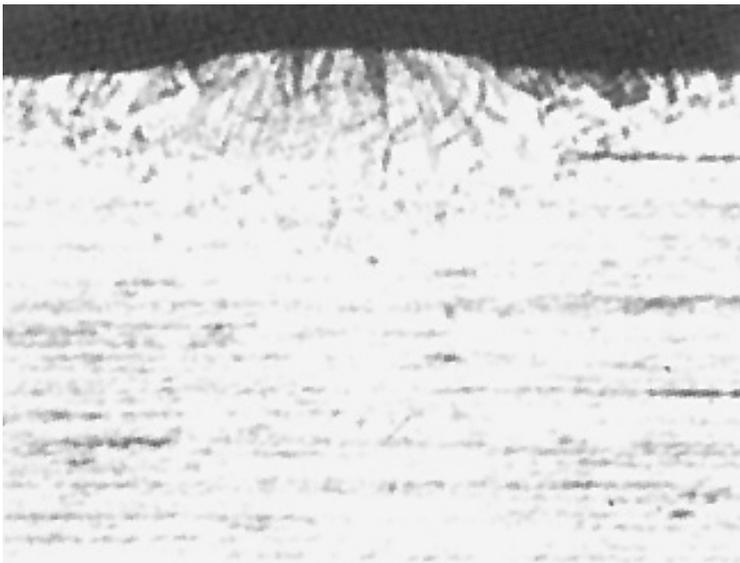




Metalurgia da soldagem

- ▶ Variação da micro dureza: material níquel laminado a frio soldado com Laser

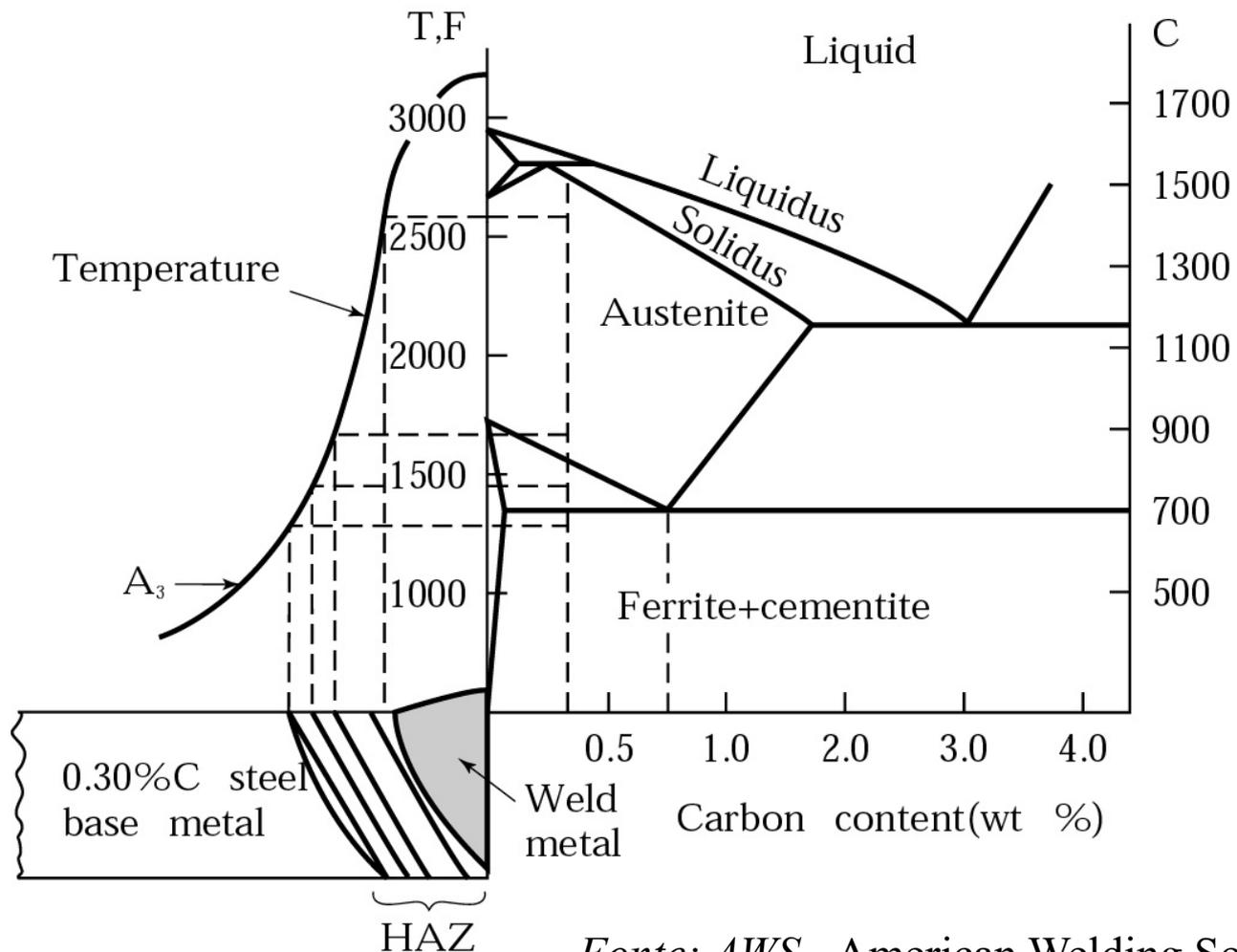
(a)





Metalurgia da soldagem

- Zona de refusão na junta soldada e ZTA

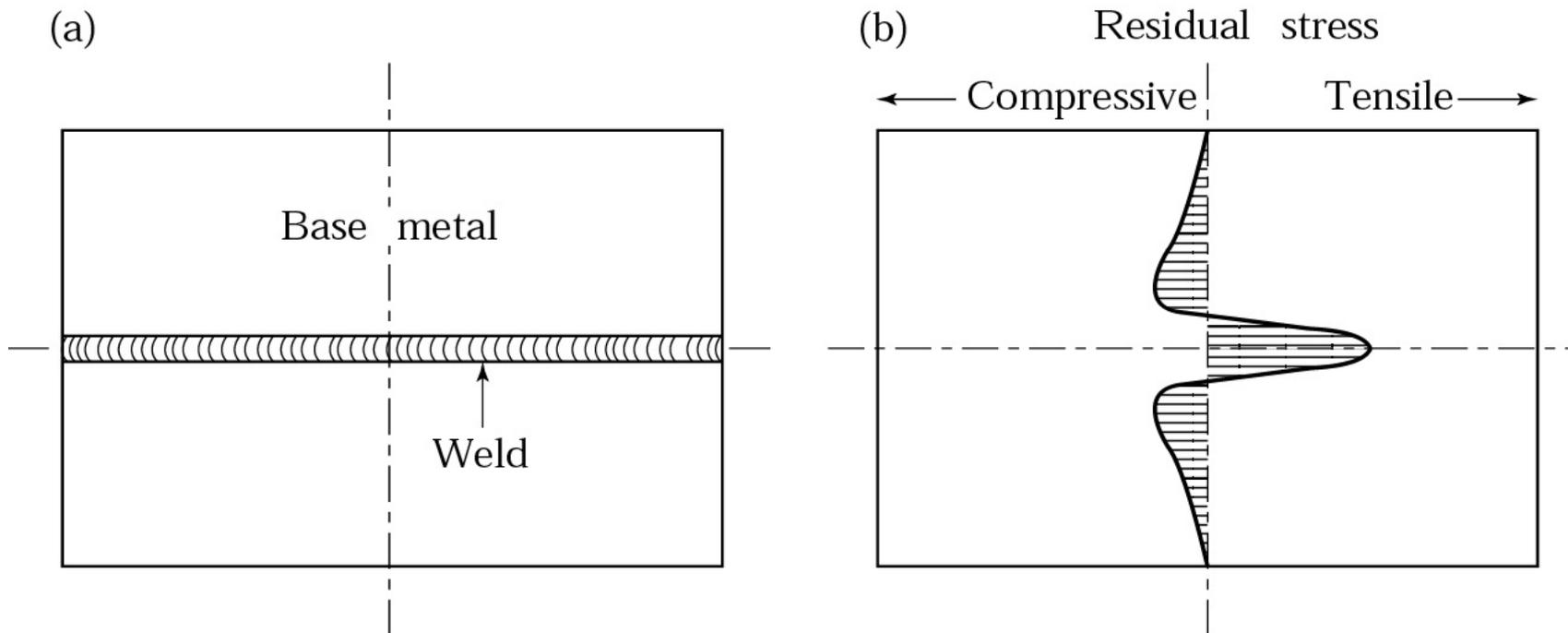


Fonte: AWS - American Welding Society.



Metalurgia da soldagem

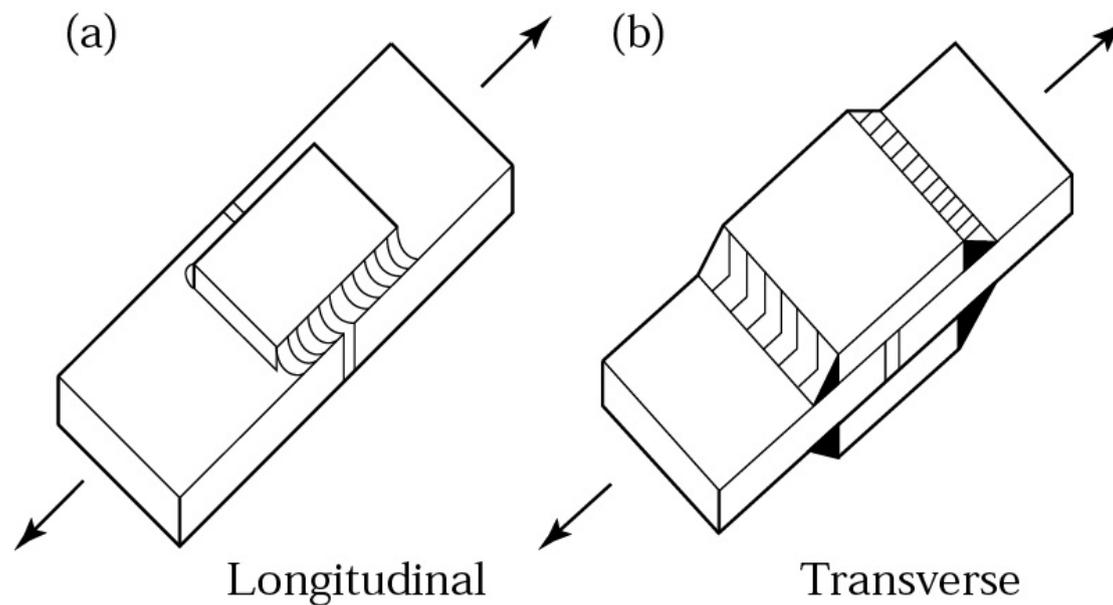
- ▶ Tensão residual desenvolvida durante a soldagem





Ensaio em juntas soldadas

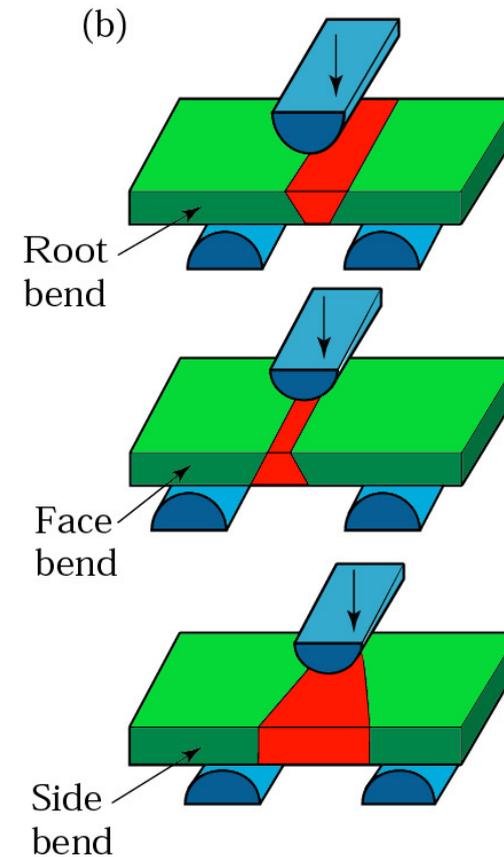
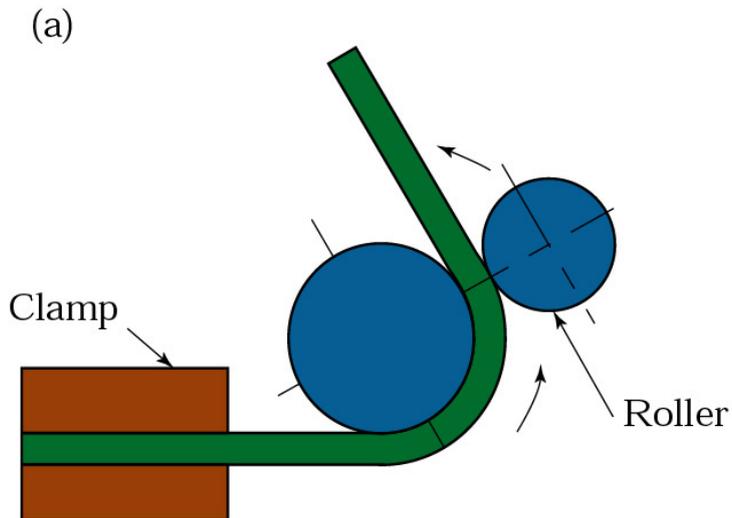
- ▶ Ensaio destrutivos
 - ▶ Ensaio trativo





Ensaio em juntas soldadas

- ▶ Ensaio destrutivos
 - ▶ Ensaio de dobramento

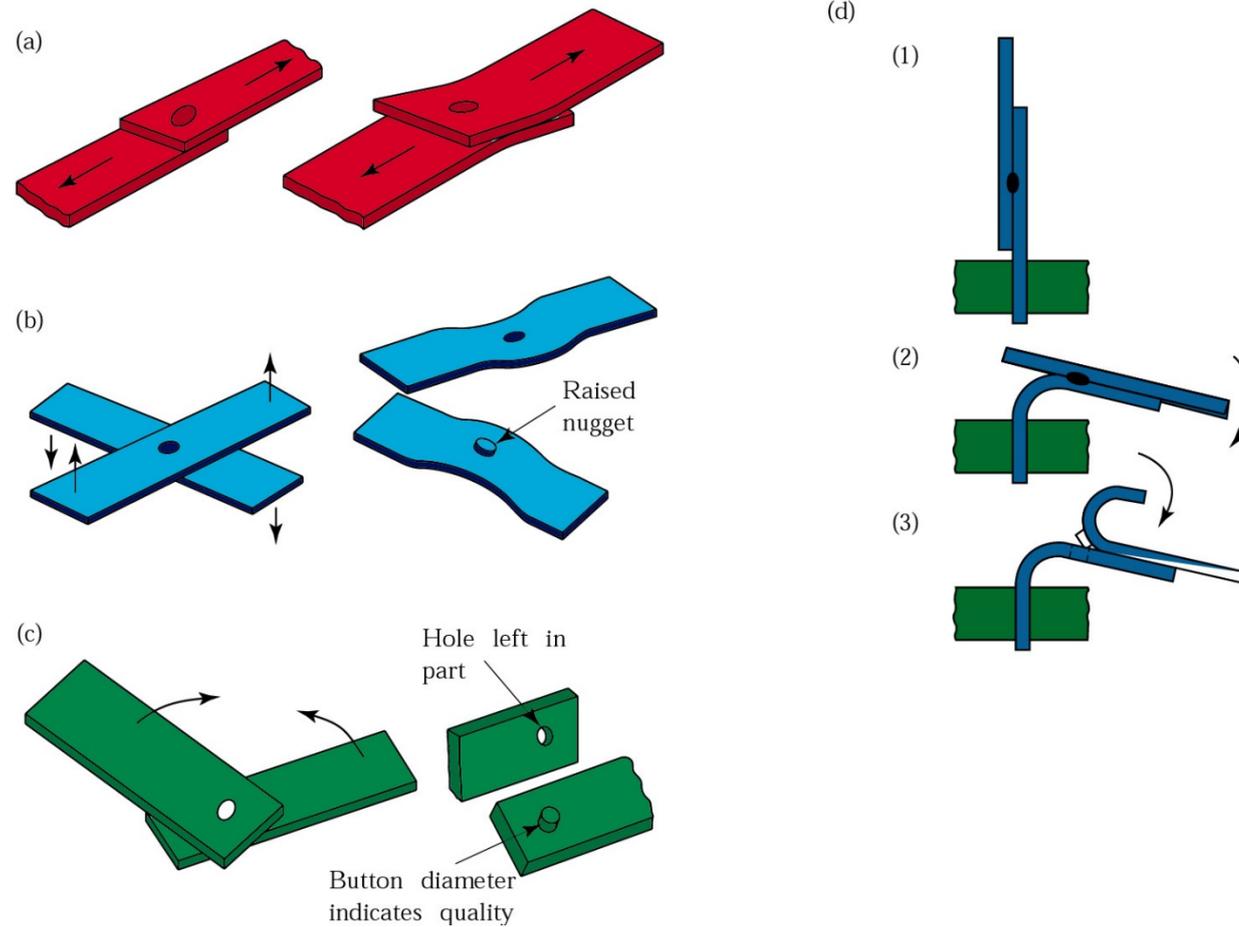


Fonte: AWS - American Welding Society.



Ensaio em juntas soldadas

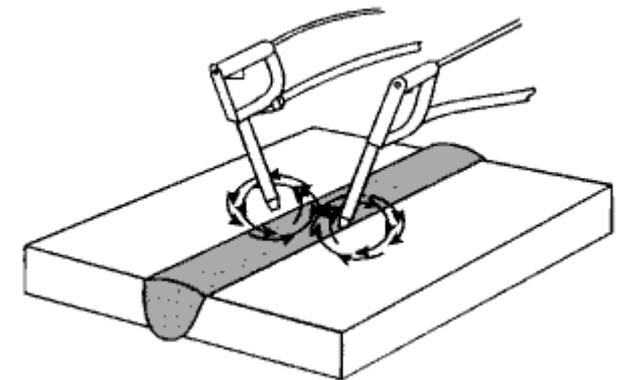
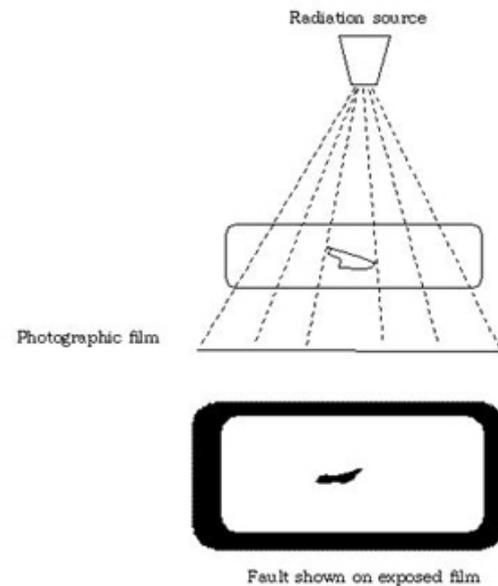
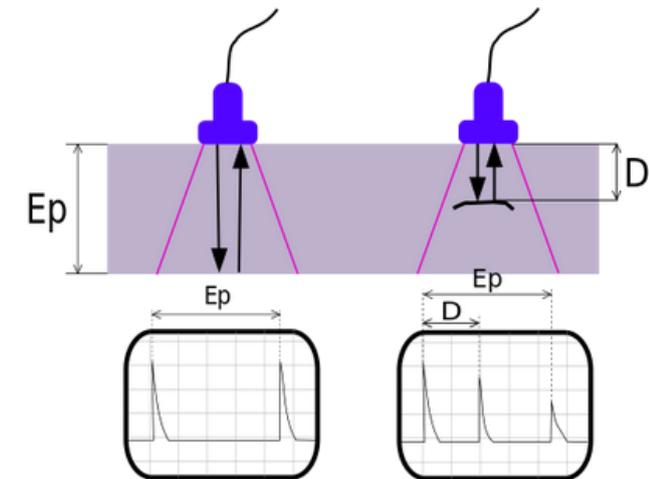
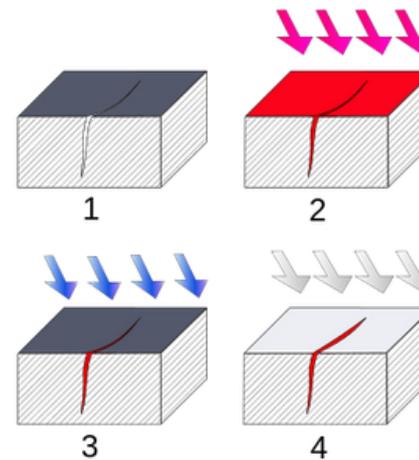
► Ensaio de solda ponto





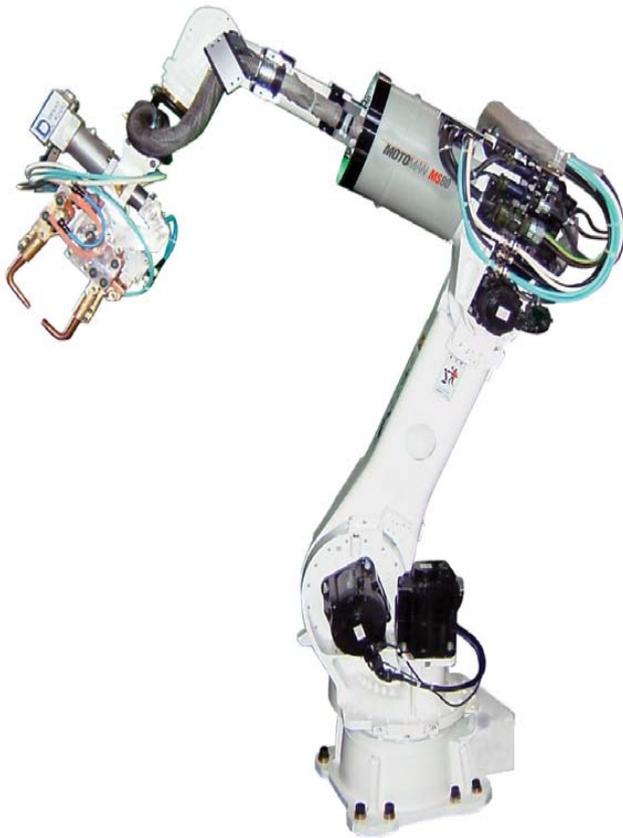
Ensaaios em juntas soldadas

- ▶ Ensaaios Não destrutivos
 - ▶ Líquido penetrante
 - ▶ Fluxo magnético
 - ▶ Raios X
 - ▶ Raios Gama
 - ▶ Ultrassom





Automatização da soldagem



<http://www.tjsnow.com/machines/>



<http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/robotic-automation/products-and-systems/Pages/fanuc-robots.aspx209>



1. O que é o processo de soldagem ?
2. Como os processos de soldagem podem ser classificados?
3. Descreva sucintamente a soldagem: TIG
4. Descreva sucintamente a soldagem: MIG.
5. Descreva sucintamente a soldagem: eletrodo revestido.
6. Descreva sucintamente a soldagem: oxiacetilênica.
7. Descreva sucintamente a soldagem: resistência.
8. Descreva sucintamente a soldagem: brasagem
9. Descreva sucintamente a soldagem: laser
10. O que é um cordão de solda ? Desenhe esquematicamente.



11. Quais são os principais defeitos em juntas soldadas?

12. Quais são os principais ensaios para avaliação de juntas soldadas?

13. Quais são as principais posições de soldagem?

15. Quais as considerações a serem feitas em projetos de juntas soldadas?



FIM da AULA