



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

- PROCESSOS DE JUNÇÃO -

- Parte I -

2020.1

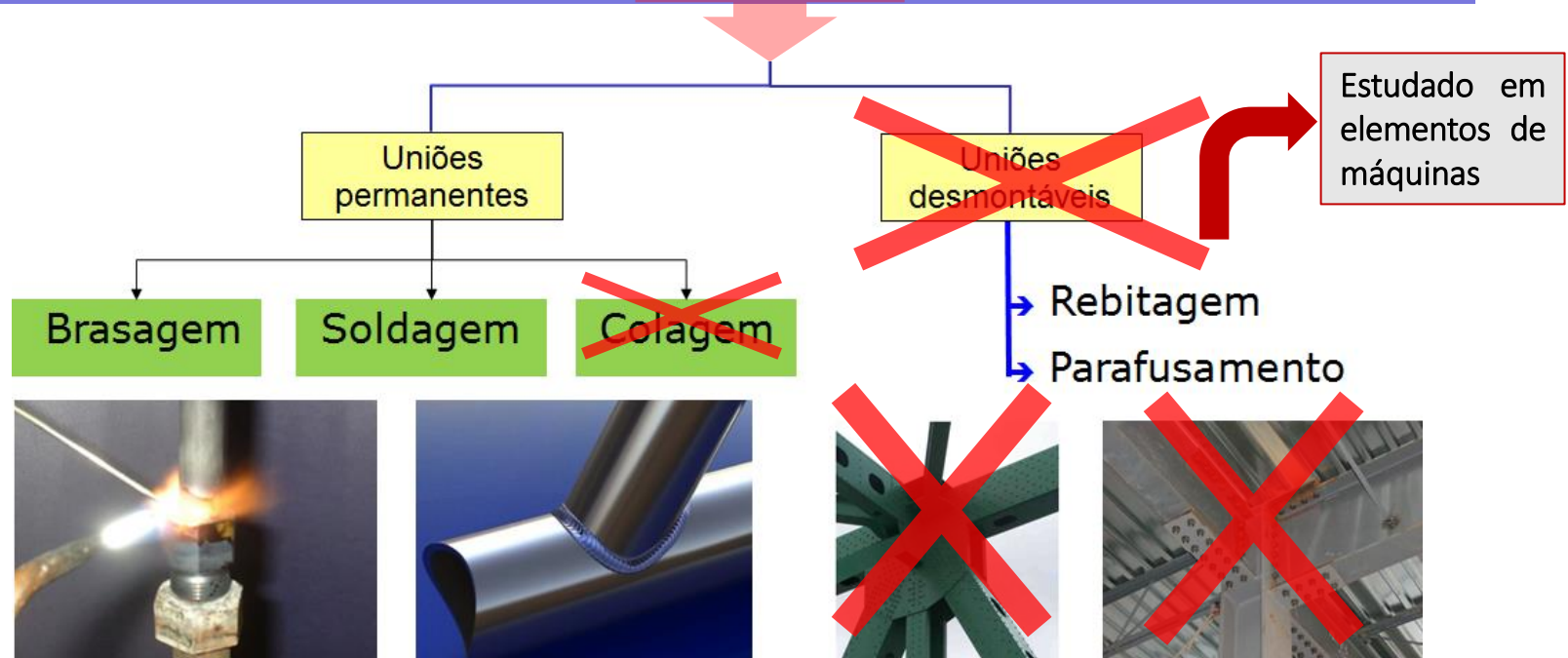


Tópicos

- ▶ 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



Divisão dos processos de fabricação



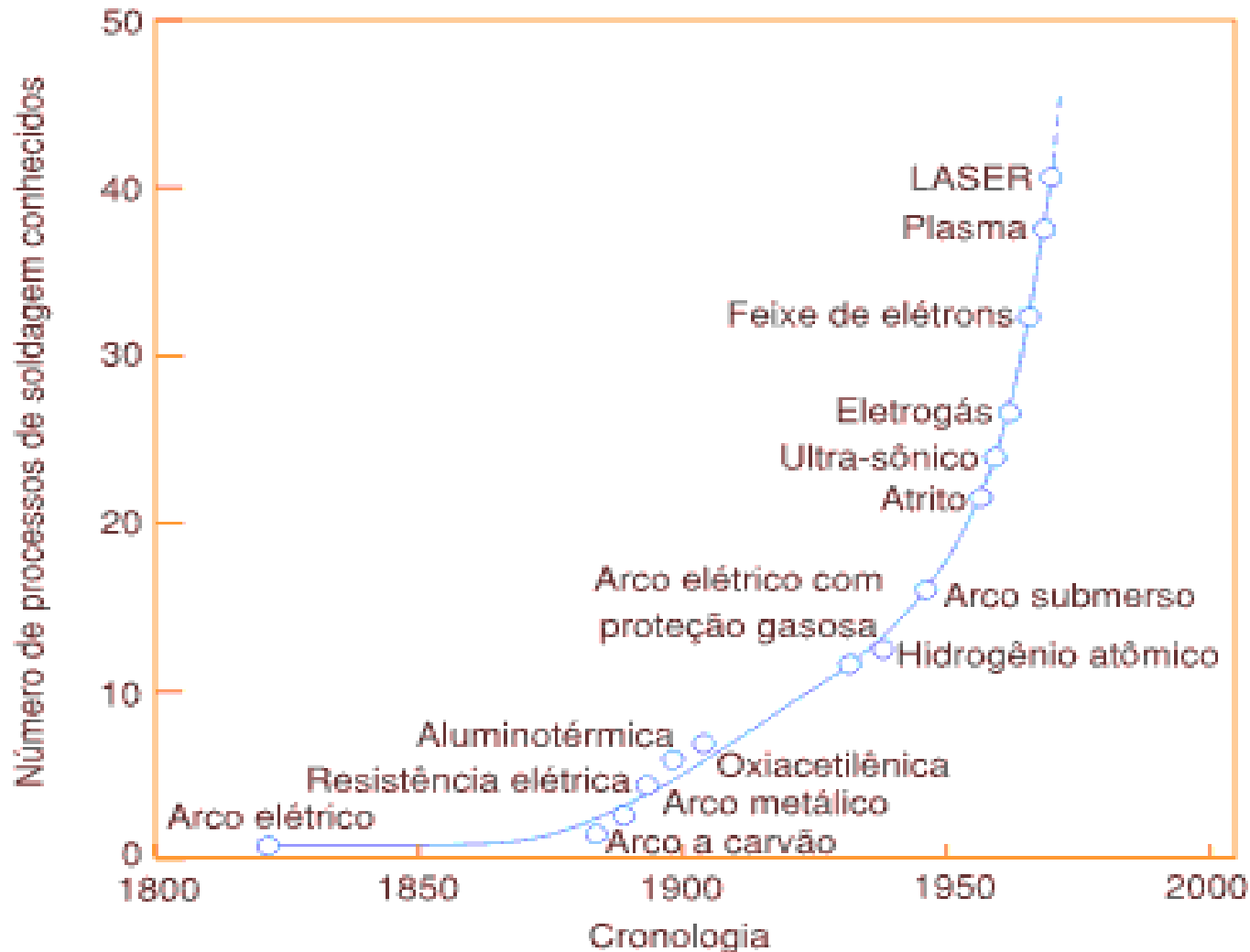


Definição de soldagem

- ▶ 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



Evolução dos processos de soldagem





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



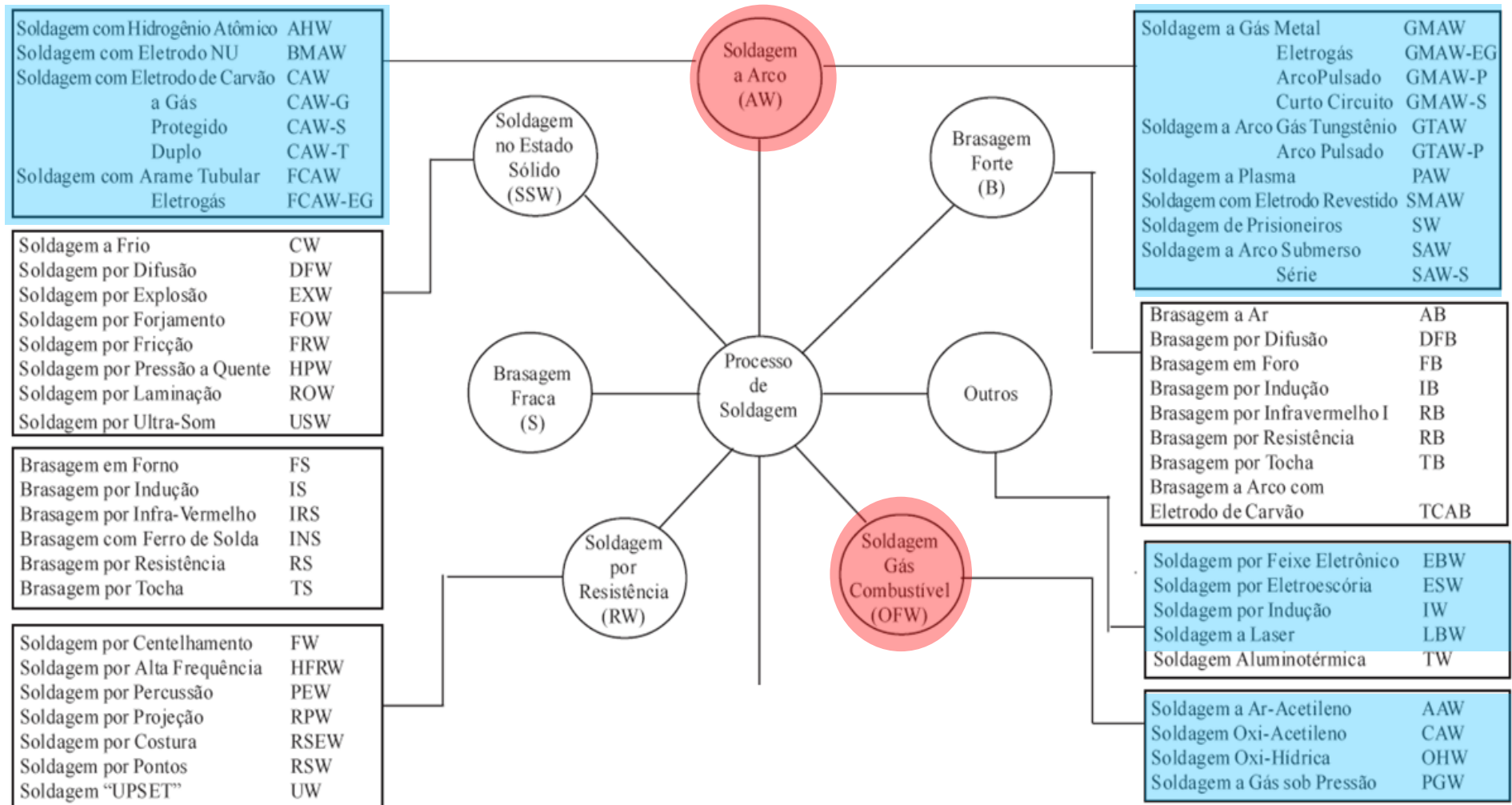
Soldagem

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

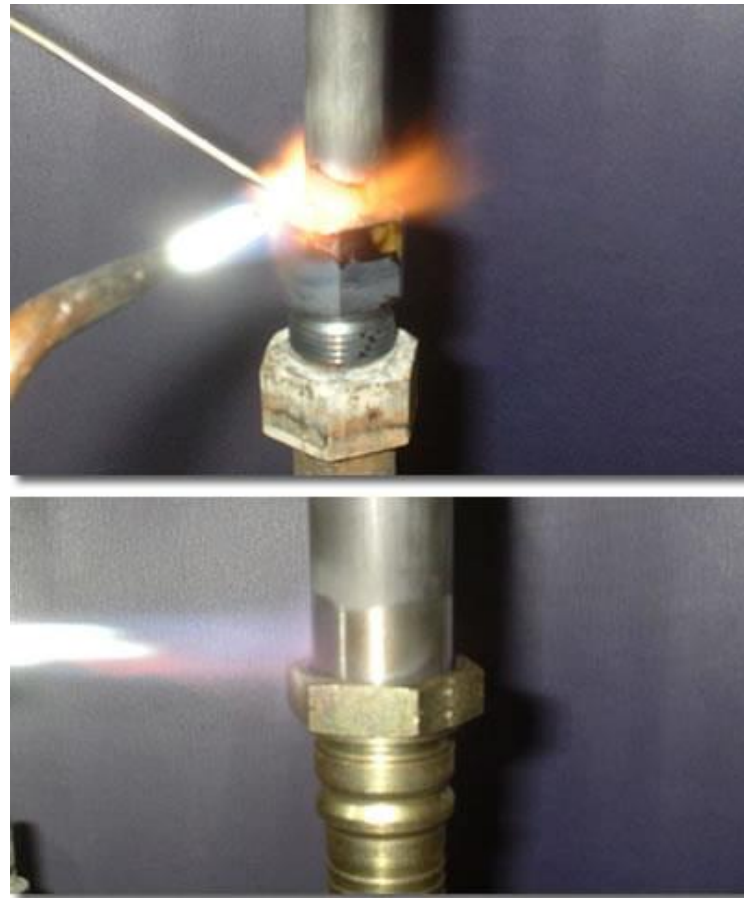


Classificação AWS dos processos de





Soldagem a Gás





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 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 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 Oxiacetileno

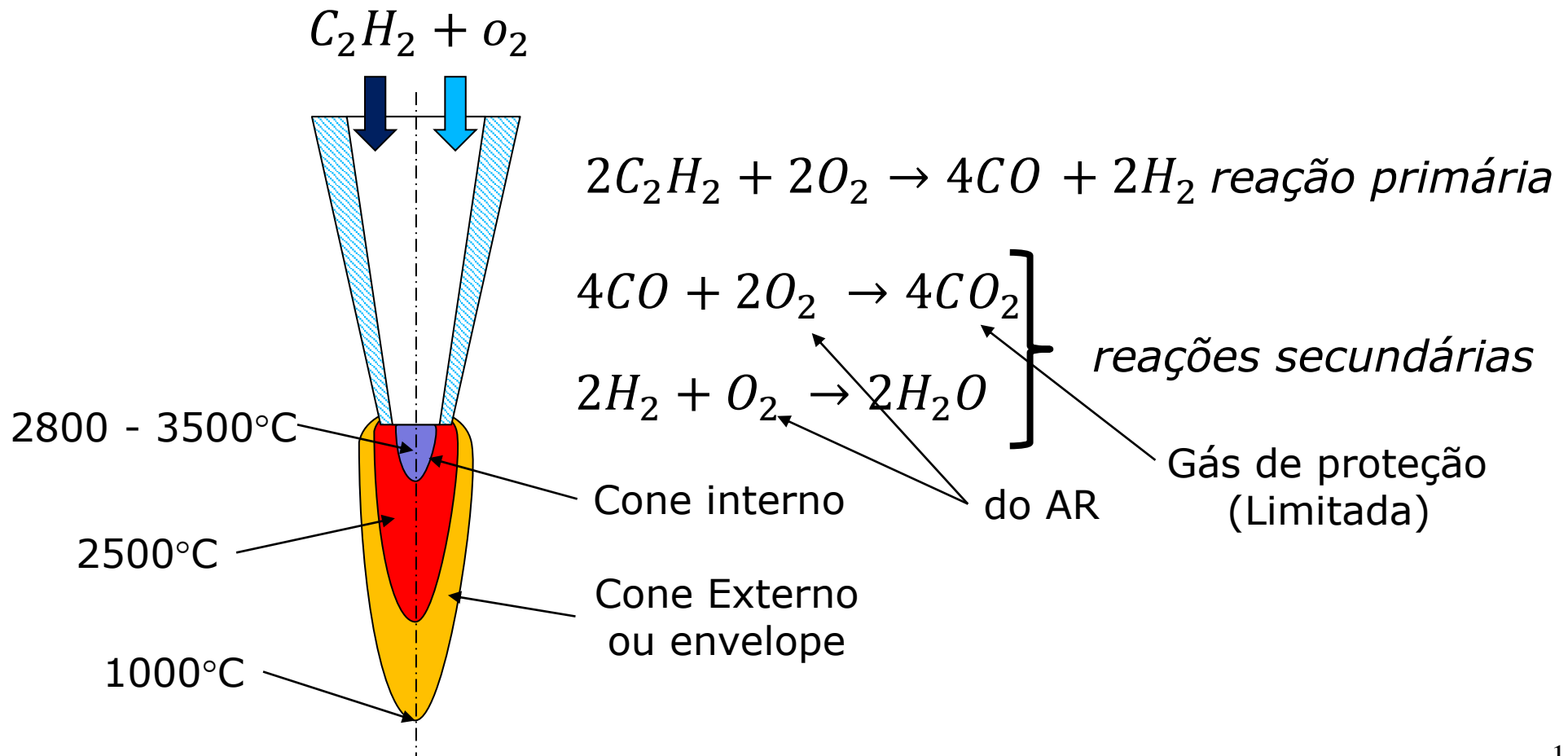
Desvantagens:

- ▶ 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 Oxiacetileno

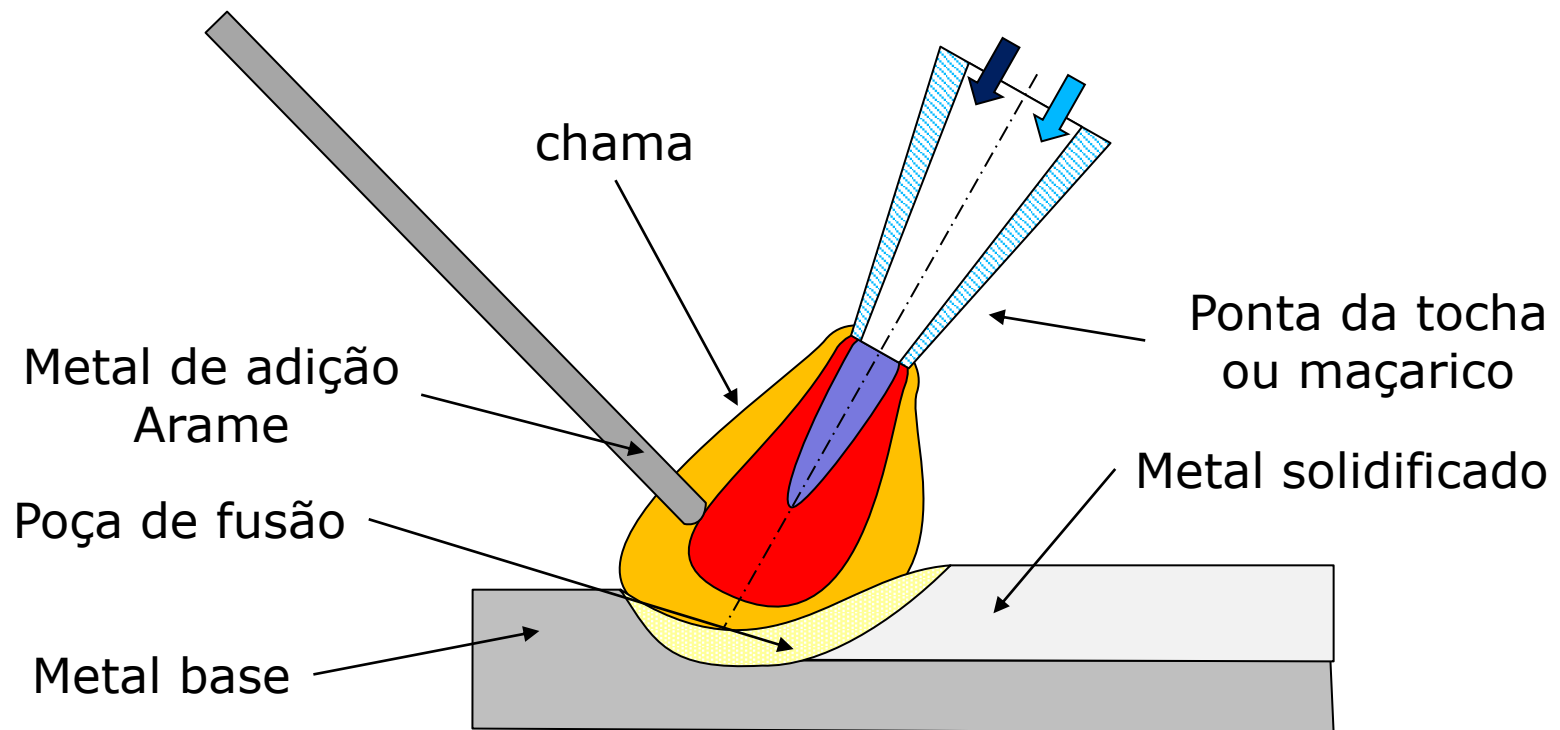
- ▶ Reação da soldagem por oxiacetileno





Soldagem Oxiacetileno

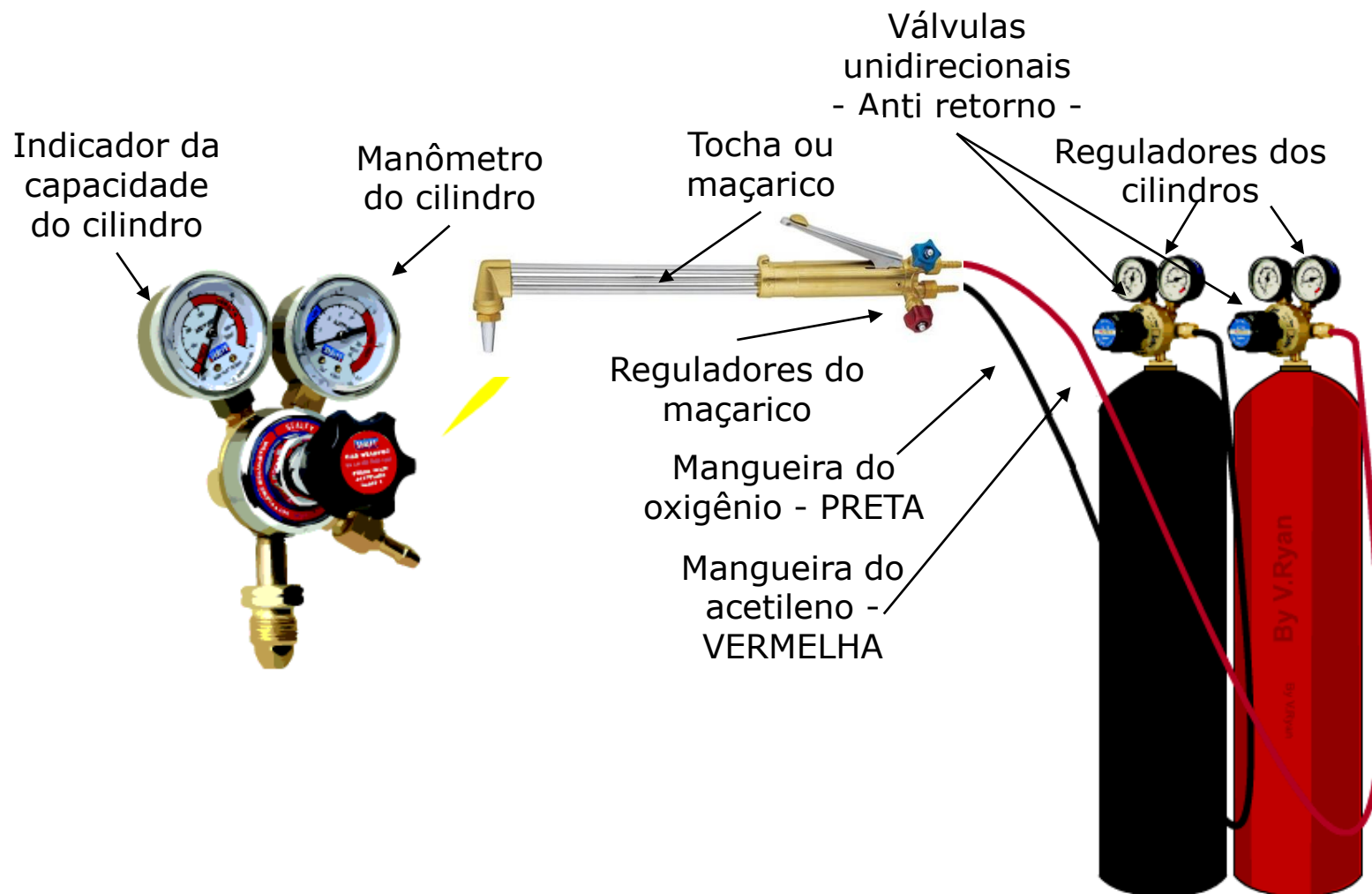
► Operação típica





Soldagem Oxiacetileno

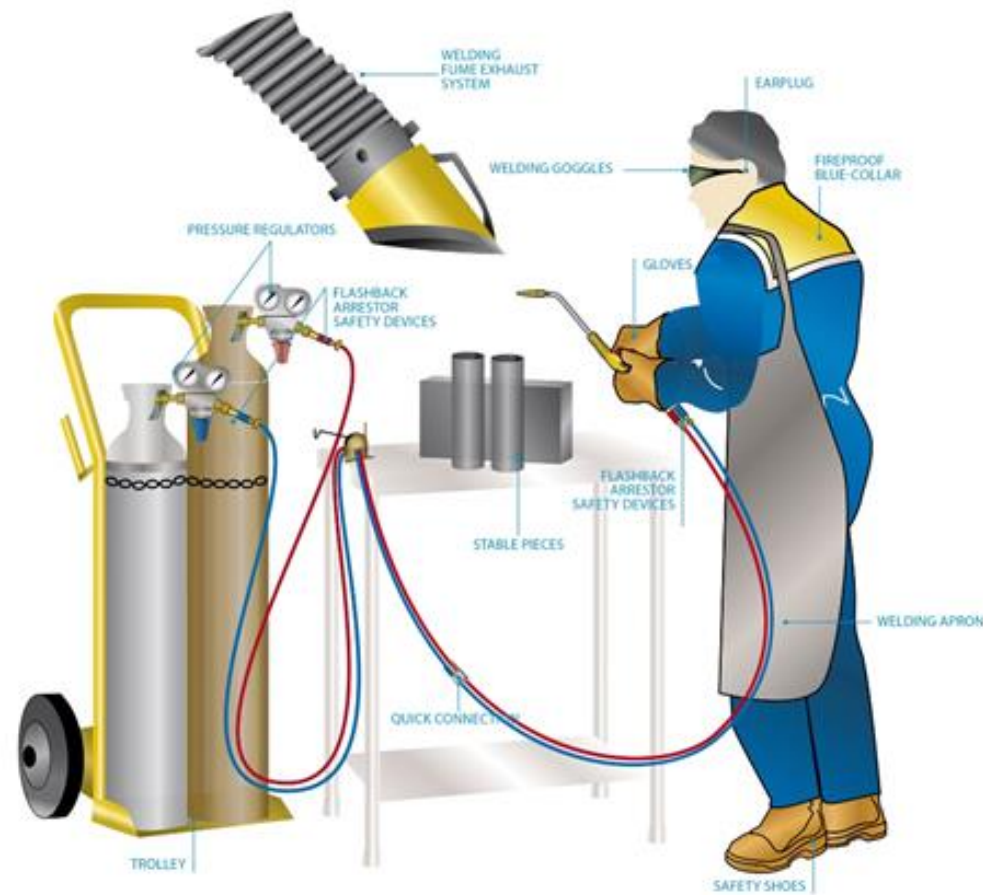
► Equipamento





Soldagem Oxiacetileno

► Equipamento

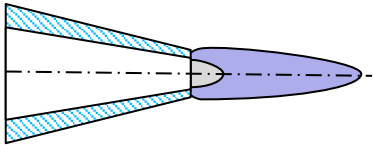




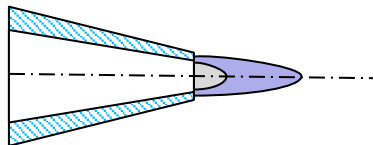
Soldagem Oxiacetileno

► Existem três tipos de chamas

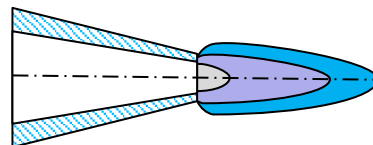
- Chama neutra – onde as proporções de acetileno e oxigênio são iguais. A queima ocorre na ponta do maçarico e o cone interno é na ordem de 2/3 da área da chama. Chama com cone interno esbranquiçado com envelope azulado e temperatura de cerca de 3000°C.



- 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.



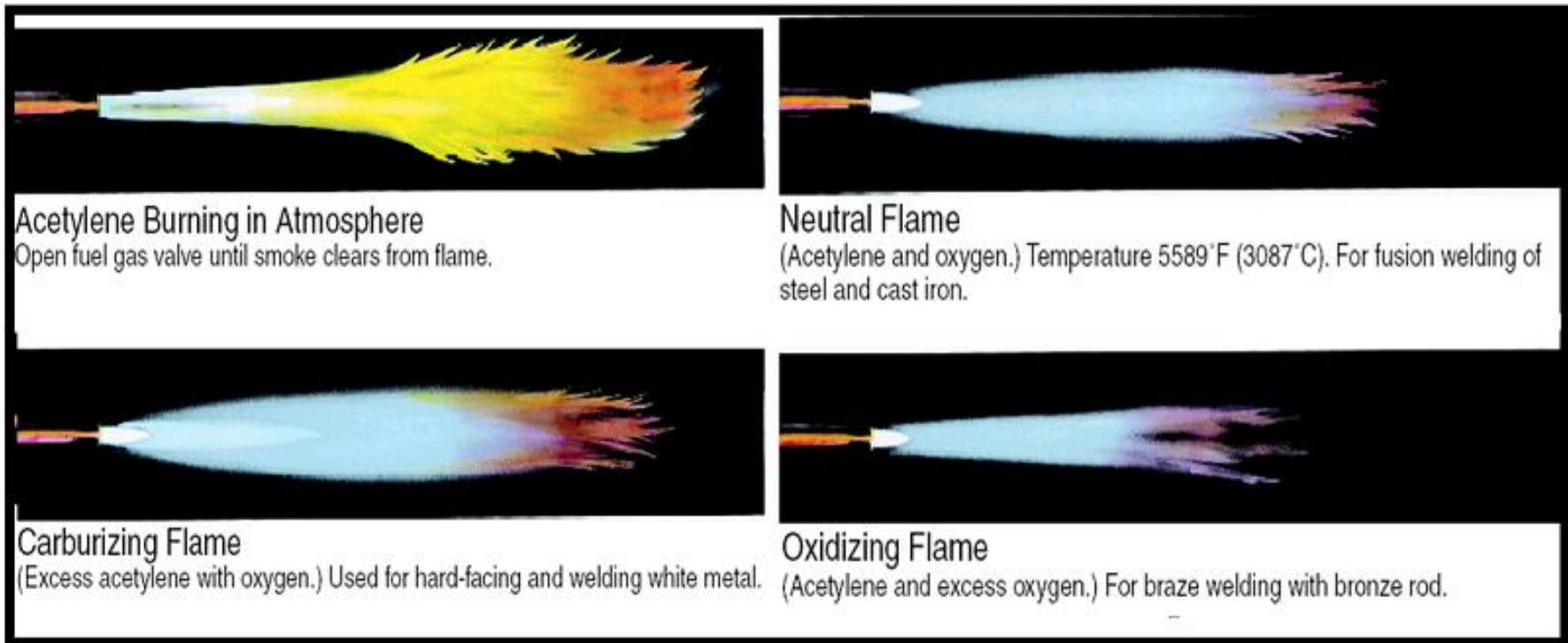
- Chama oxidante – nesta há excesso de oxigênio, recomendada para soldagem de bronze. Chama escura com cone interno curto e temperatura de cerca de 3400°C.





Soldagem Oxiacetileno

► Tipos de chamas



► Vídeo

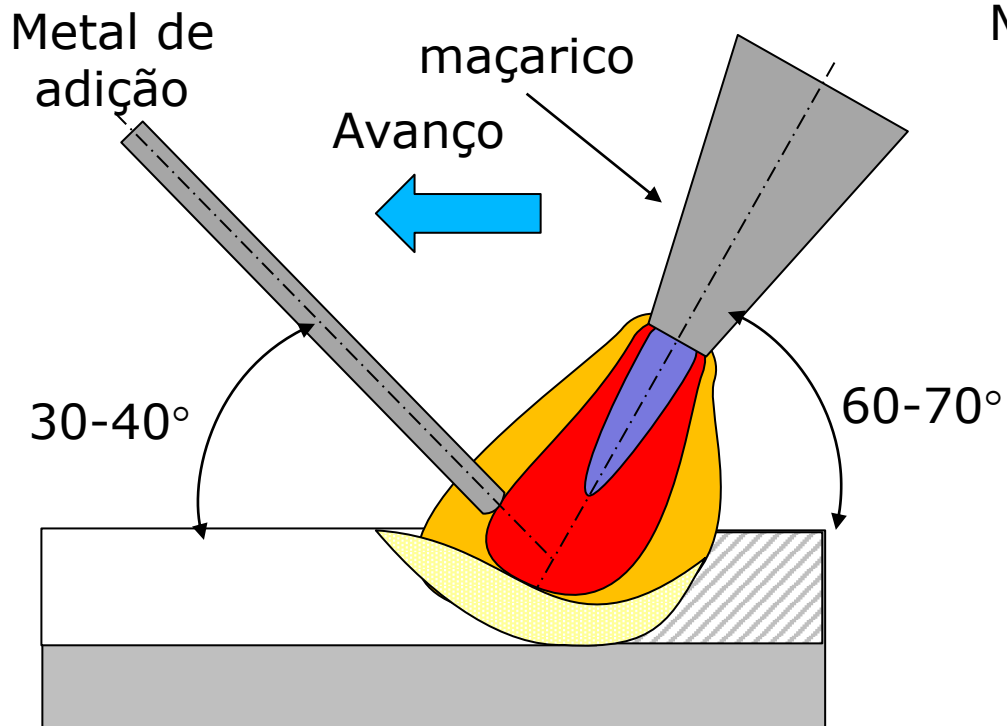


https://www.youtube.com/watch?v=Yjg3ZxMDv_4

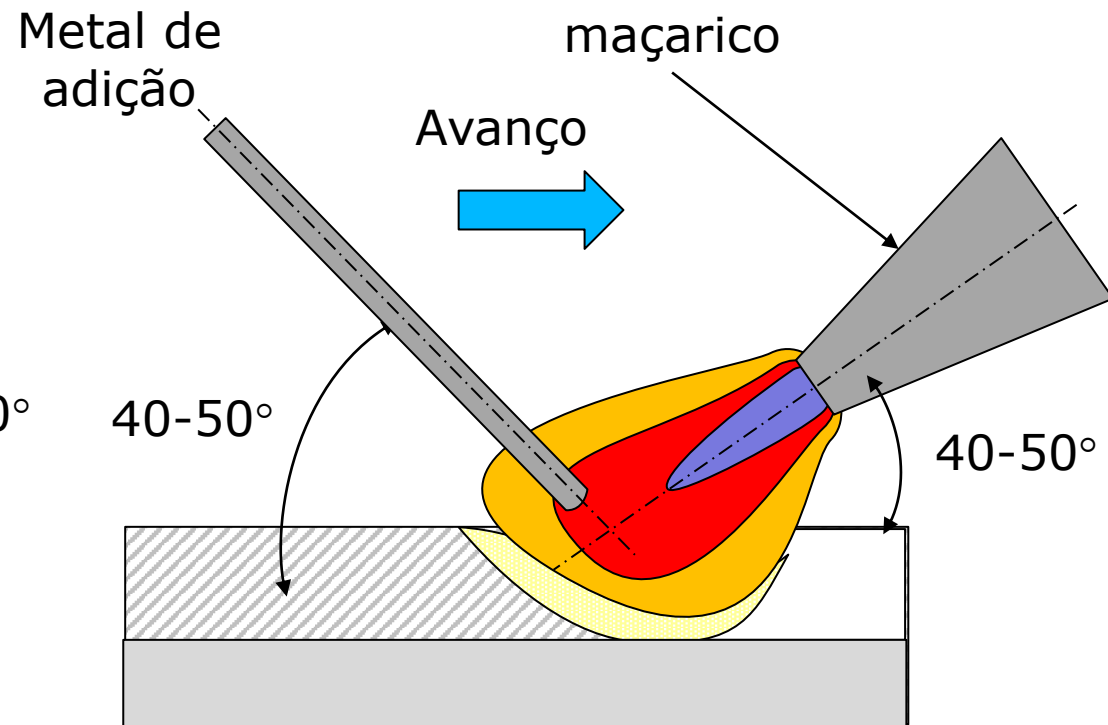


Soldagem Oxiacetileno

► Técnicas de soldagem



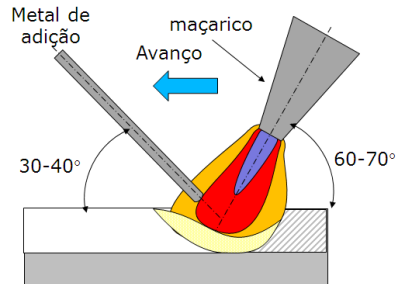
Avanço a esquerda



Avanço a direita

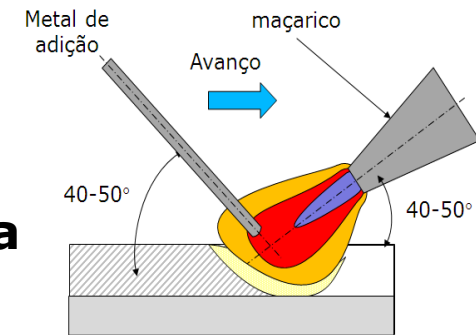


Soldagem oxiacetileno



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
- ▶ Proporciona bom controle e o cordão é visualmente melhor
- ▶ recomendada para chapas finas com espessura inferiores a 5mm



Avanço a direita

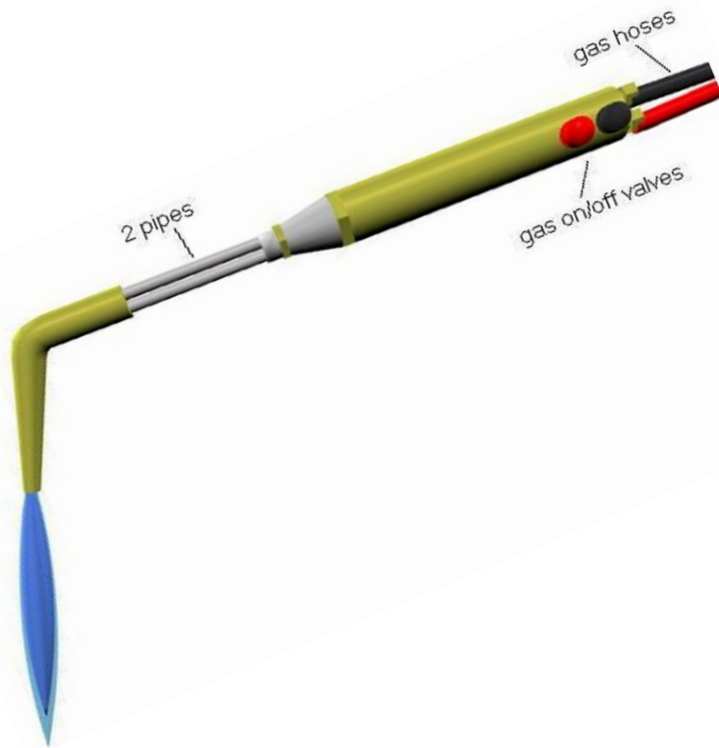
- ▶ O maçarico é seguro pela mão direita e a vareta (material de adição) com a esquerda
- ▶ A soldagem se inicia a esquerda e o sentido de avanço é para a direita
- ▶ Utilizada para espessuras superiores a 5 mm, pode-se obter penetrações de até 12 mm.
- ▶ Não há obstrução da visão da poça de fusão ou da raiz
- ▶ Necessita de menos material de deposição
- ▶ Menor dano térmico e distorções
- ▶ Melhor qualidade do cordão de solda
- ▶ Menor custo



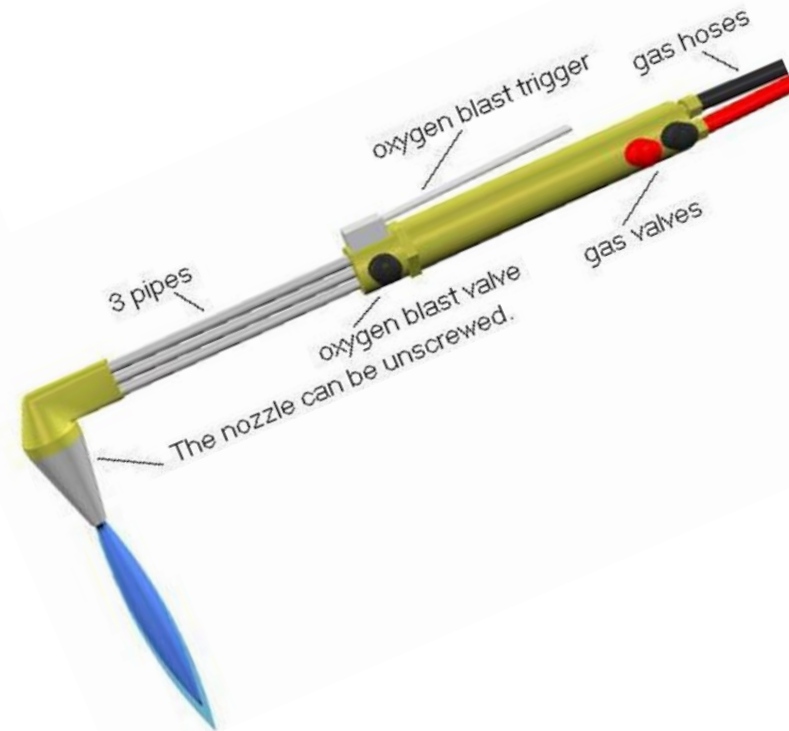
Soldagem oxiacetileno

► Tipos de maçarico

► de soldagem



► de corte





Soldagem oxiacetileno

► Vídeos exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=QEWEMCwSMuw>

<https://www.youtube.com/watch?v=mibENu9te20>

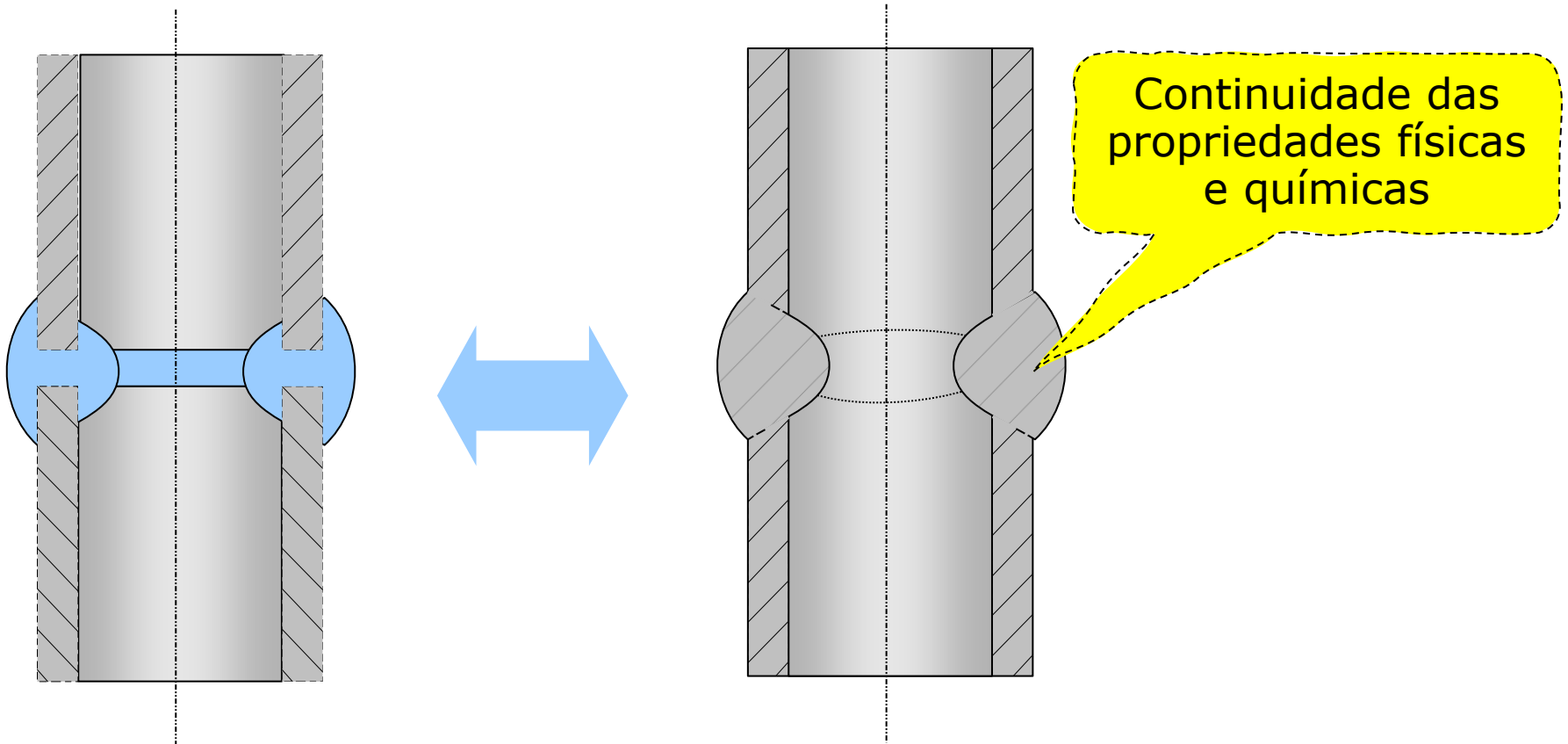


Brasagem

- ▶ 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



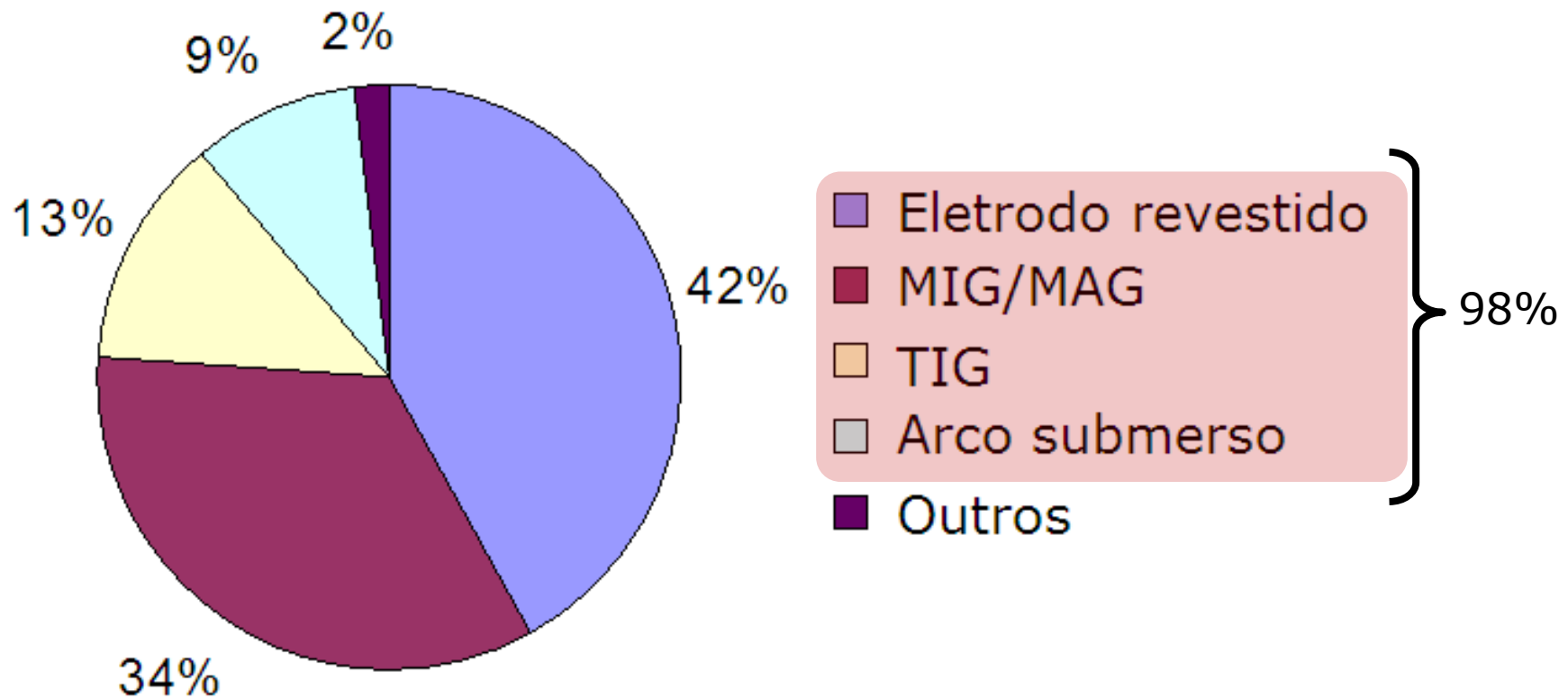
Soldagem a arco voltaico





Soldagem a arco voltaico

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:

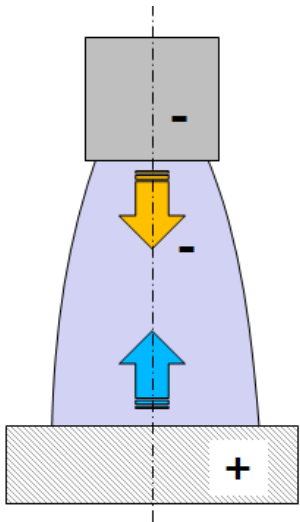
- **Contínuo estacionário** – descarga elétrica entre dois eletrodos
- **Descontínuo** – o arco é interrompido de virtude de curto circuito (CC) durante a transferência de material
- **Contínuo não estacionário** – ocorre em virtude da alternância da direção do fluxo de corrente
- **Pulsado** – interrupção 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

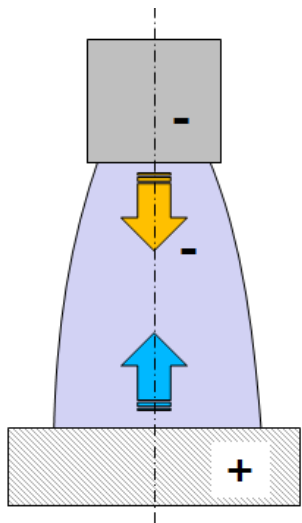




Arco elétrico

► Formação

- A potência deve ser alta o suficiente para manter a temperatura do arco para permitir a passagem contínua de corrente

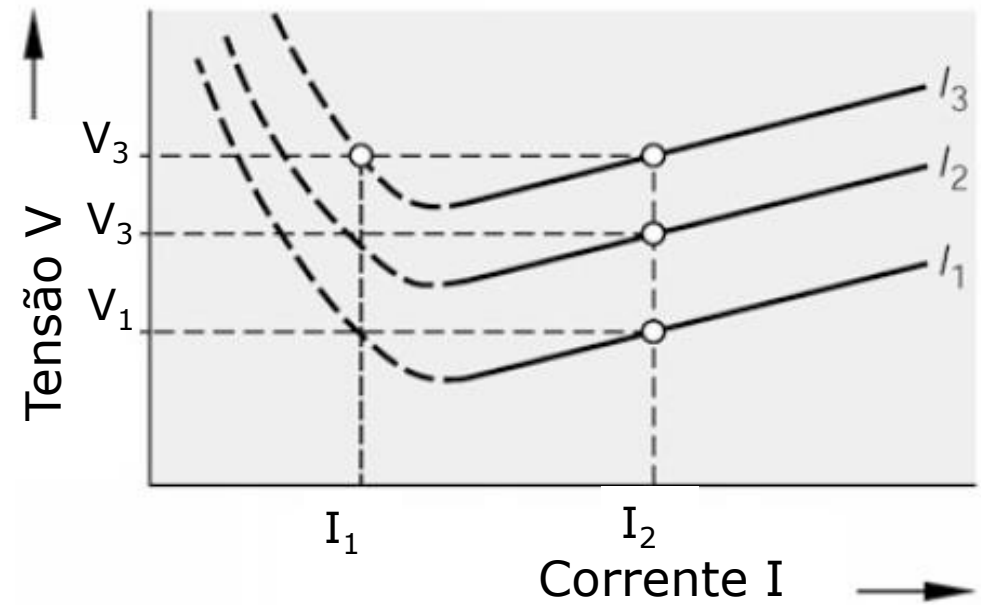
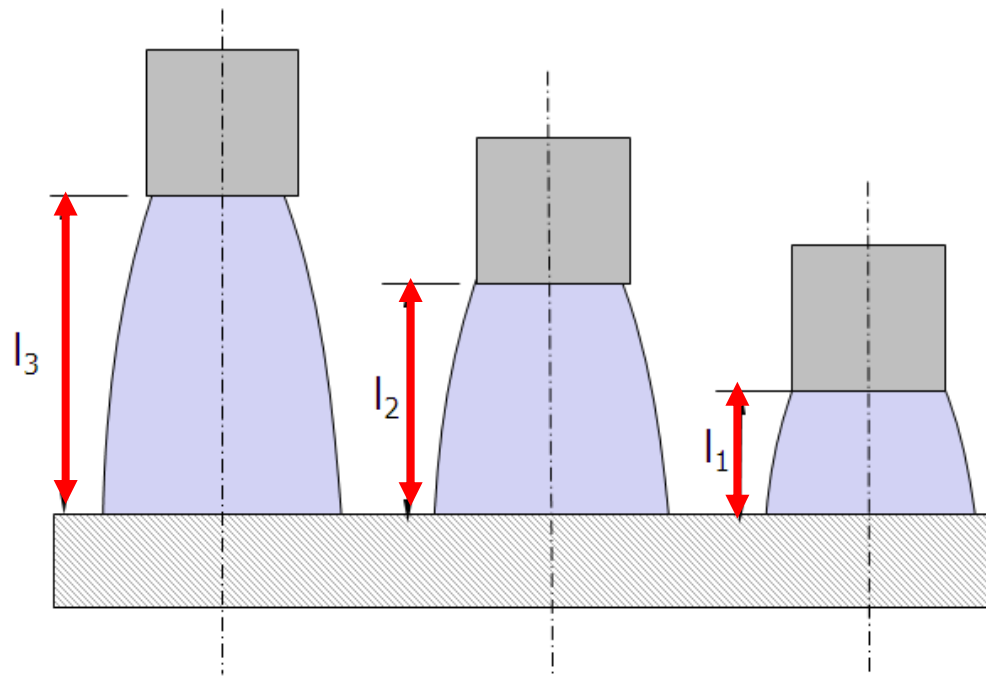


- A temperatura mantém a ionização do gás
- O arco elétrico tem duas funções principais
 - Fornecer calor para o processo de fusão do materiais
 - Servir de meio de transporte para o metal fundido para a poça de fusão
- A transferência varai de acordo com as forças eletromagnéticas e as tensões superficiais



Arco elétrico

- Distribuição de tensão e corrente no arco



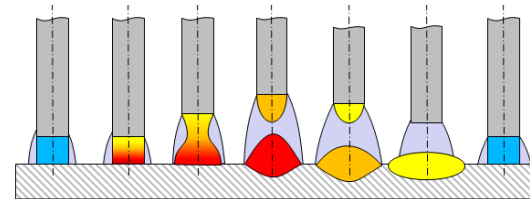


Arco elétrico

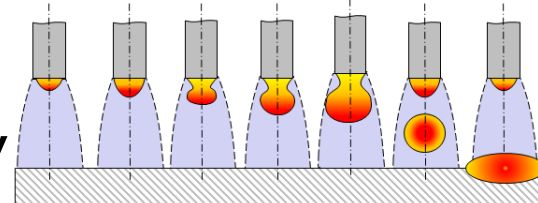
Transferência de material

- ▶ 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

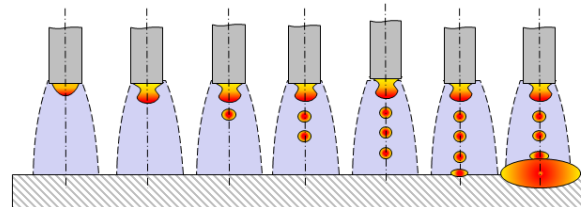
- ▶ Por curto circuito,



- ▶ Por glóbulos ou gotas,



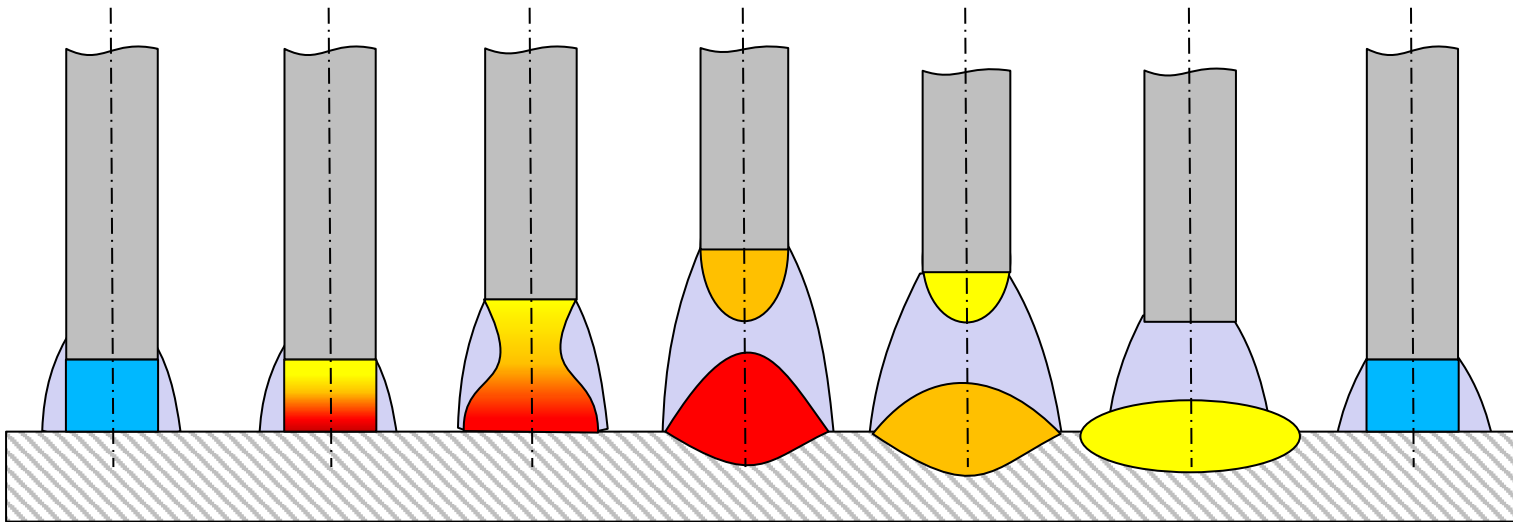
- ▶ Por spray





Arco elétrico

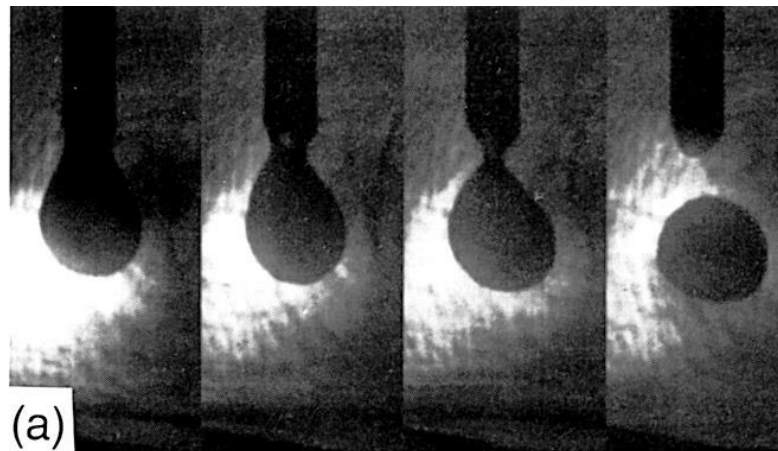
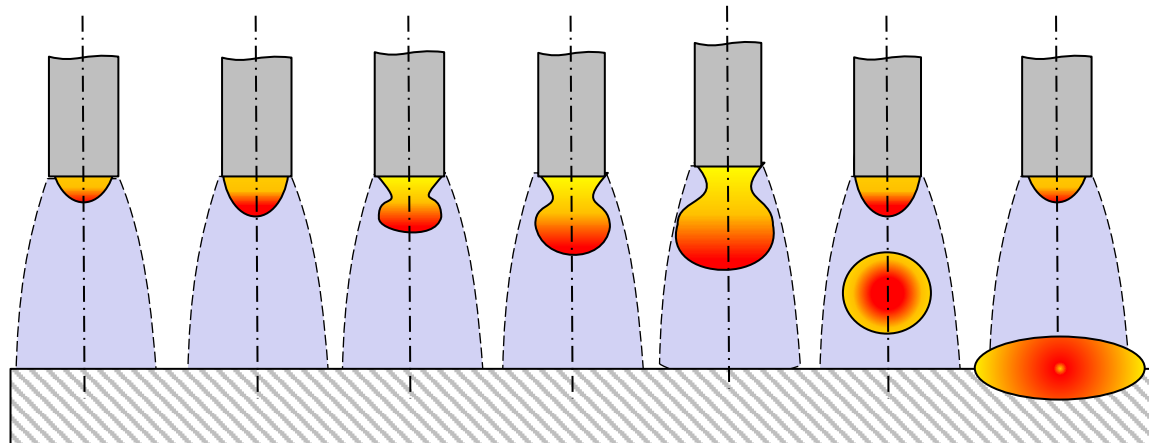
- ▶ A transferência de material por curto circuito





Arco elétrico

- ▶ Transferência de material por glóbulos ou gotas

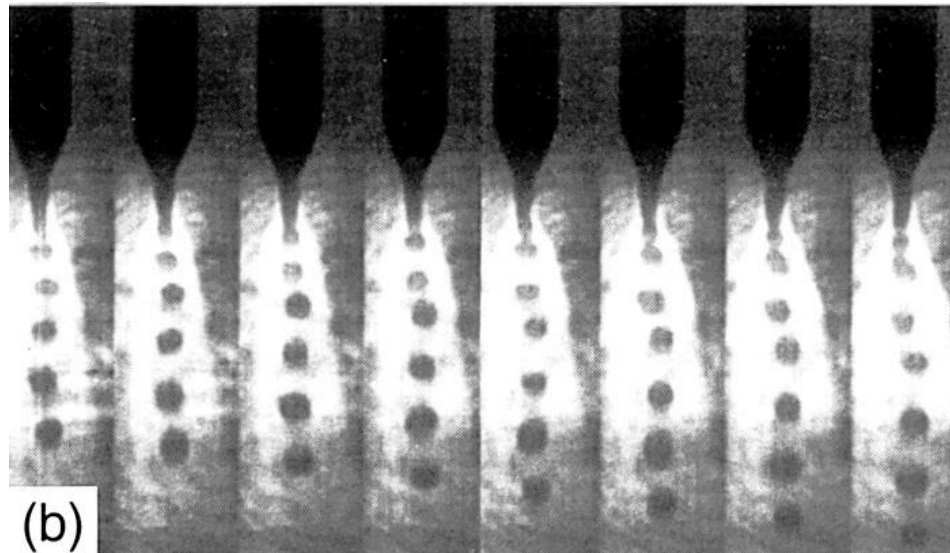
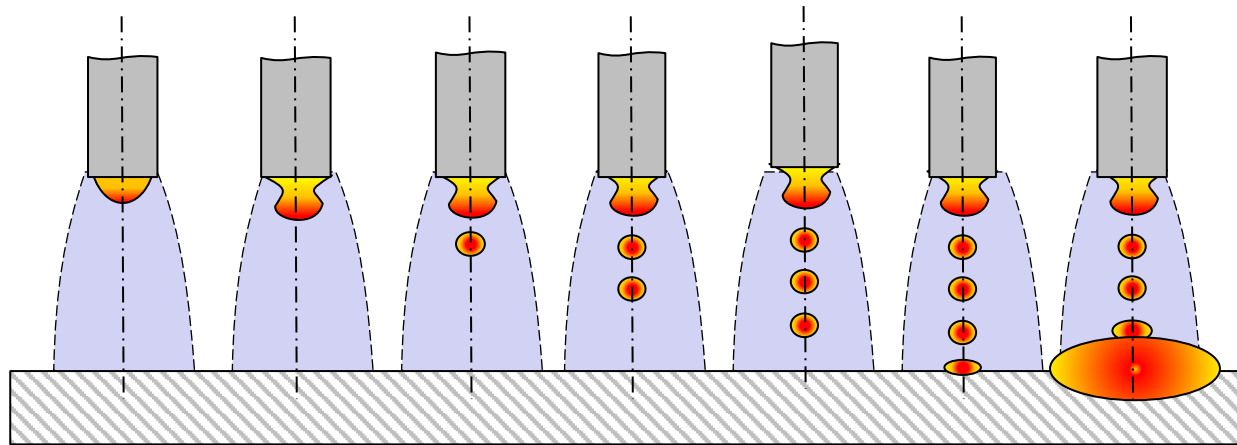


(a)



Arco elétrico

- ▶ Transferência de material por spray





Transferência de material na soldagem a arco

► Vídeos exemplos

https://www.youtube.com/watch?v=F_xr7rTVYSU

<https://www.youtube.com/watch?v=rB9n9Mt68J0>



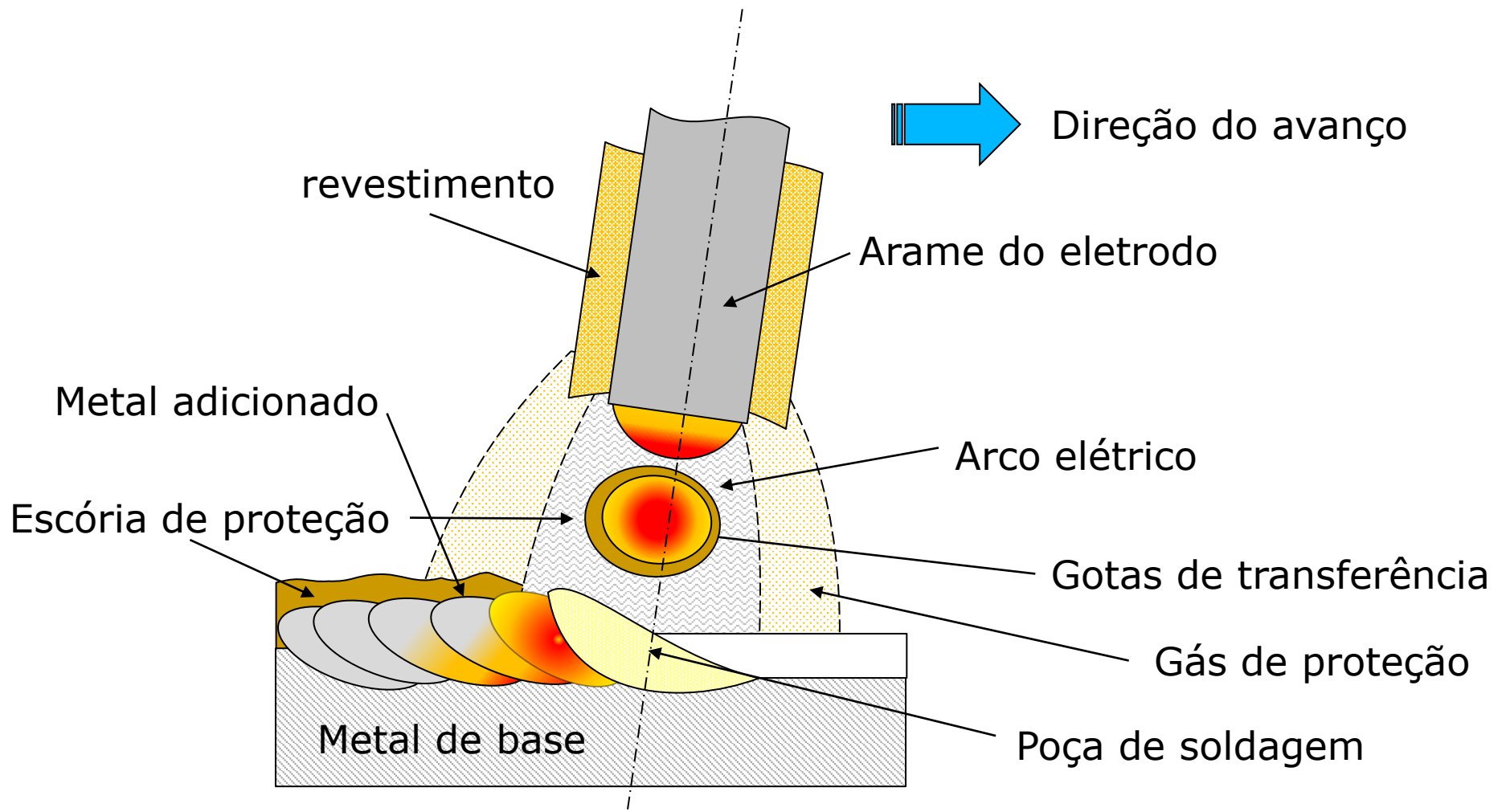
Soldagem por eletrodo revestido

- ▶ 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



Soldagem por eletrodo revestido

► Desvantagens

- Forte dependência da habilidade do operador
- Automatização limitada
- 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**

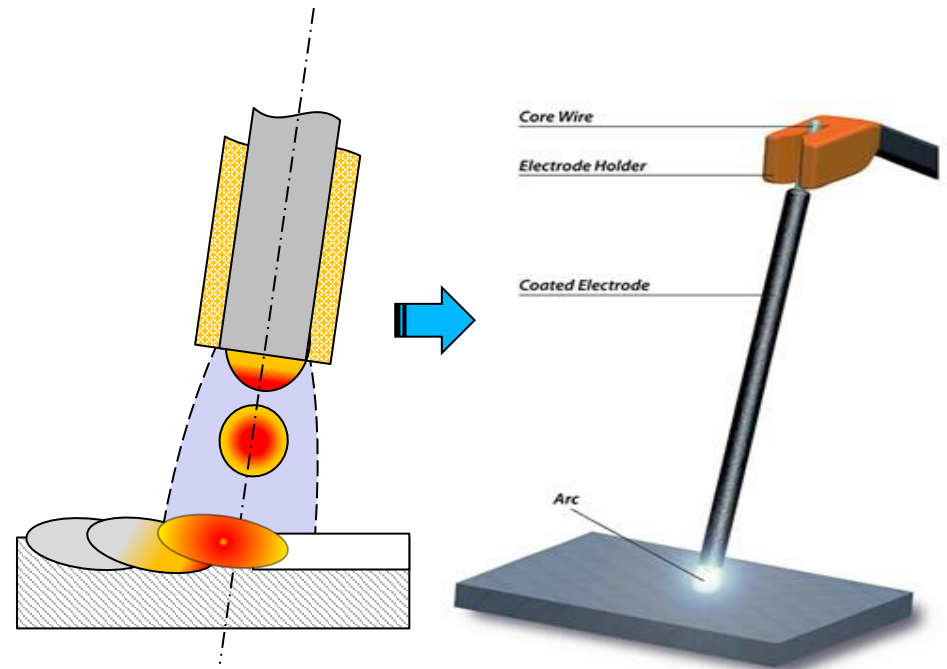
E7018-A1-H8R

8 - baixo hidrogênio

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

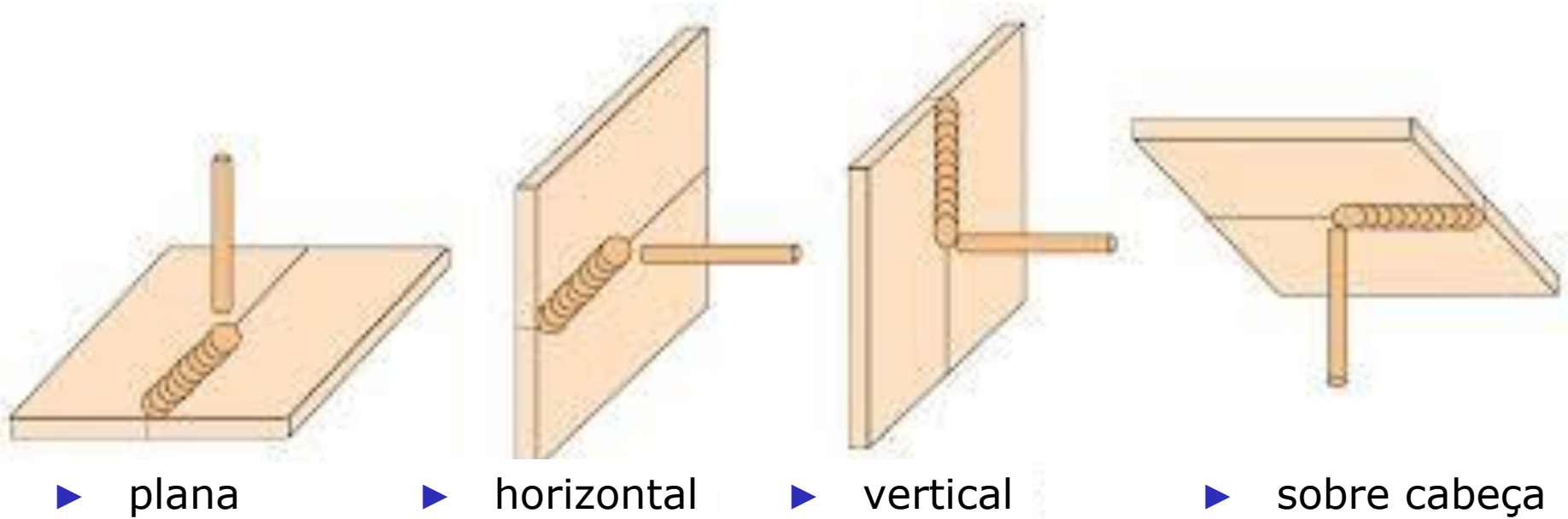
70 - resistência a tração (70.000psi)

E - eletrodo





Posições de soldagem





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

► Tipos 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

► 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 por eletrodo revestido

▶ Vídeos exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=CoHVA7nr82A>

<https://www.youtube.com/watch?v=rb72AT-YK0Y>



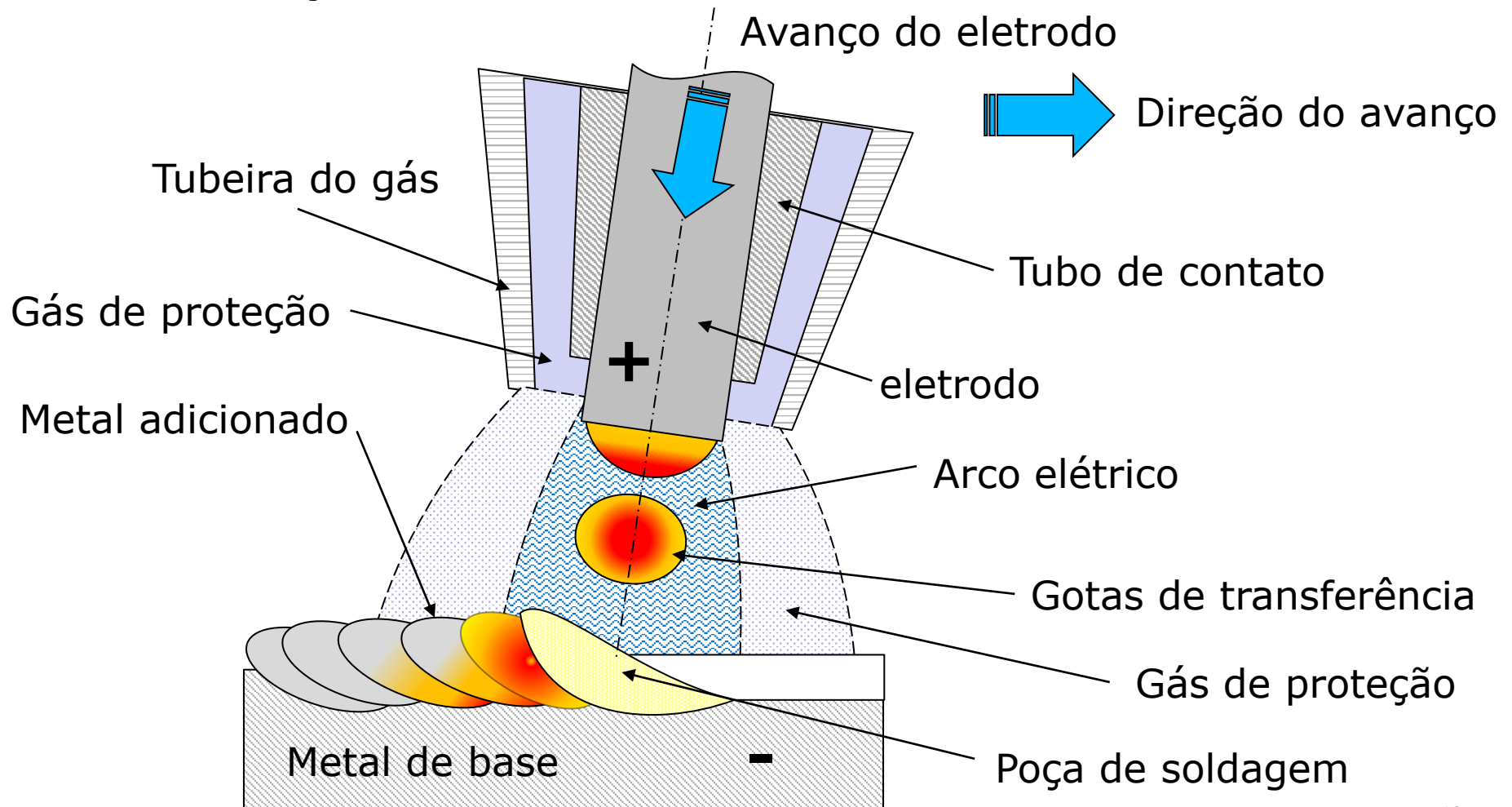
Soldagem MIG/MAG

- ▶ 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

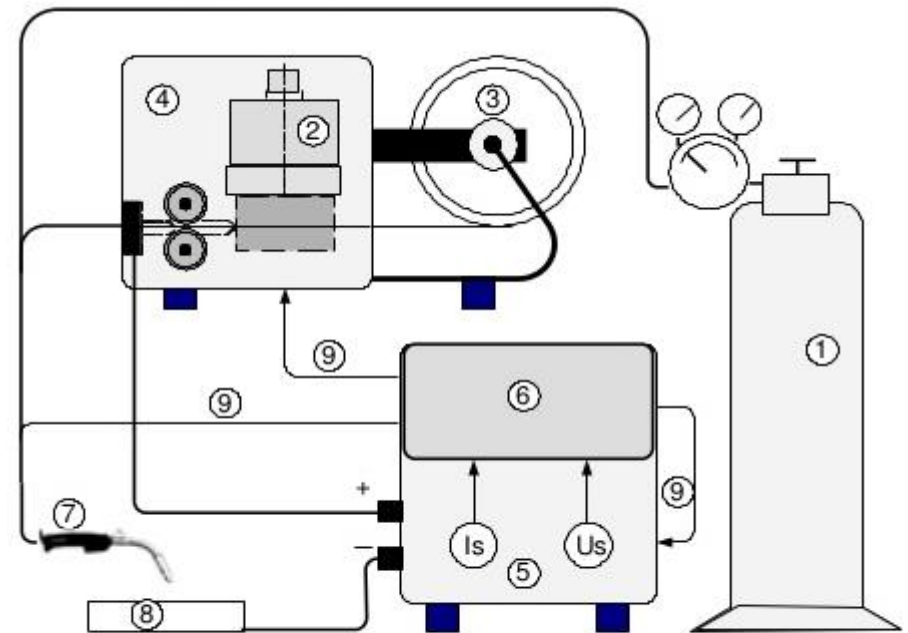
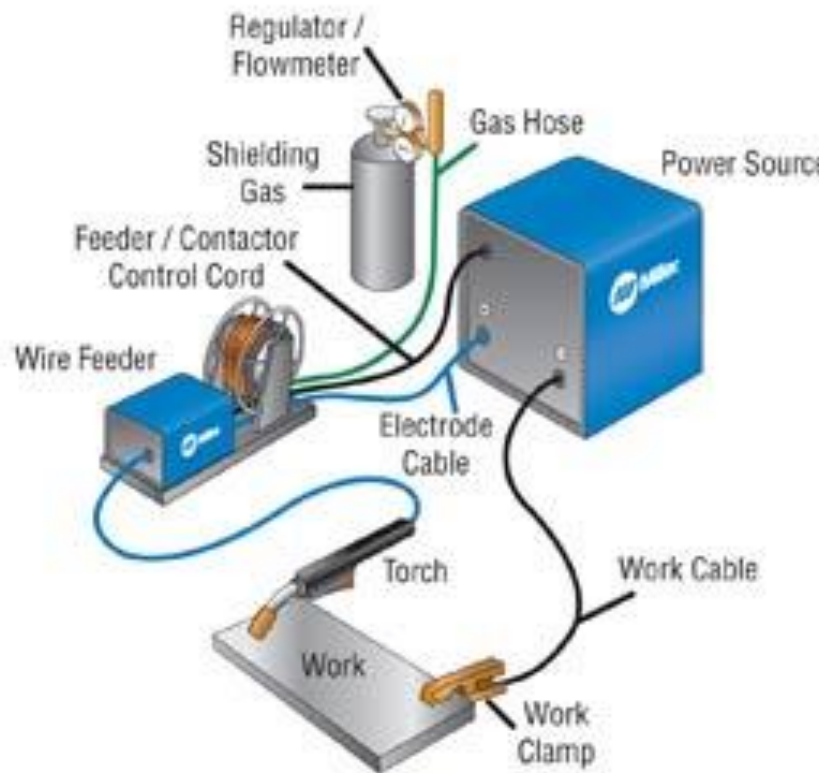
► Desvantagens

- Necessita de um sistema de alimentação 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 MIG/MAG

► **Vídeo exemplo**

<https://www.youtube.com/watch?v=twUAa5LWUvk>

<https://www.youtube.com/watch?v=nDWGRzfcmcw>



Soldagem TIG

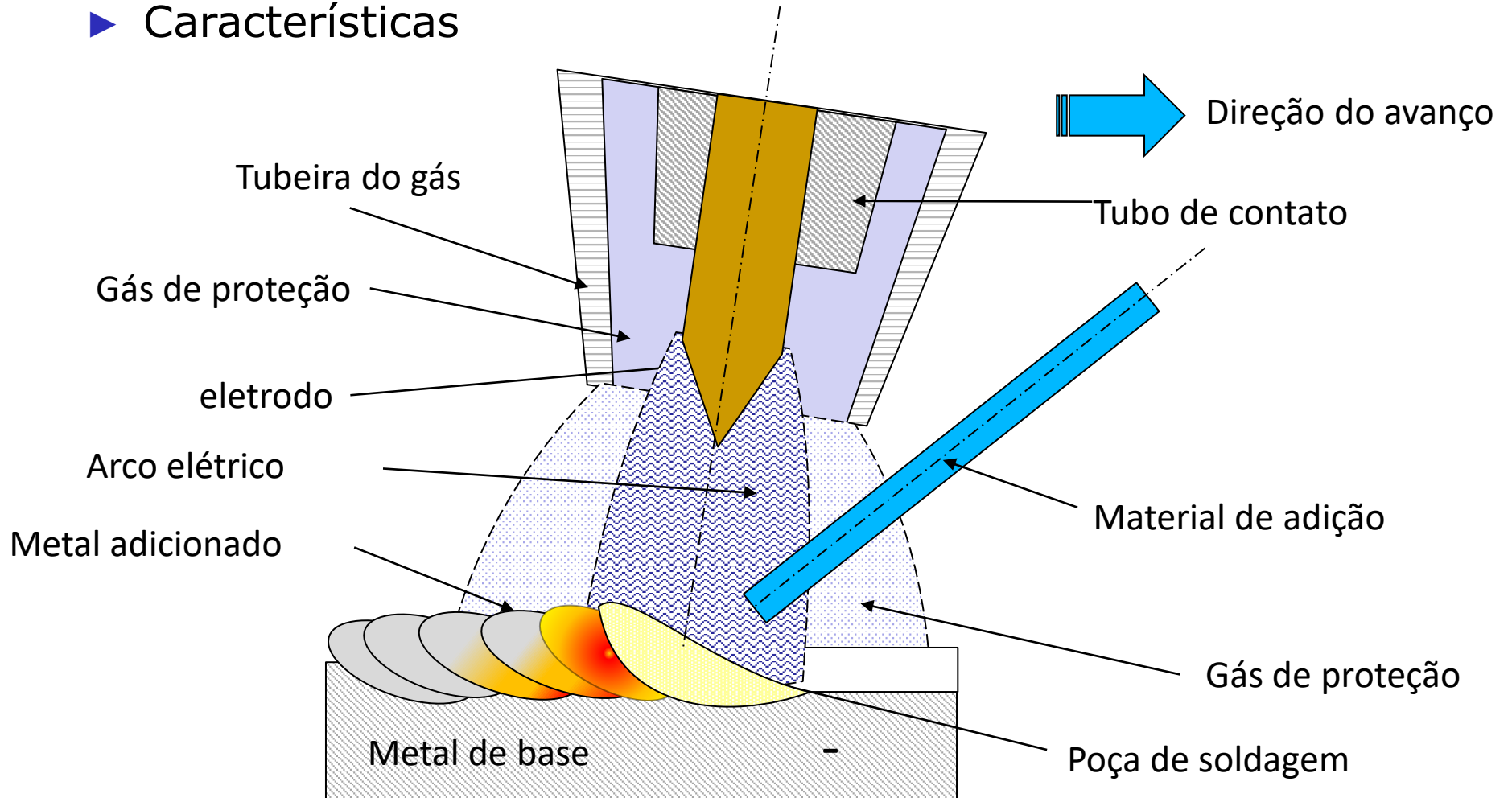
- ▶ TIG - *Tungsten Inert Gas, Gas-tungsten arc welding* (**GTAW**)
- ▶ Ao contrário dos processos ER, MIG e MAG onde o arco se estabelece no eletrodo e este é consumido no processo, Na soldagem TIG o arco se estabelece entre a peça e um eletrodo de Tungstênio
- ▶ O processo TIG pode operar com ou sem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





Soldagem TIG

► Características





Soldagem TIG

► 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

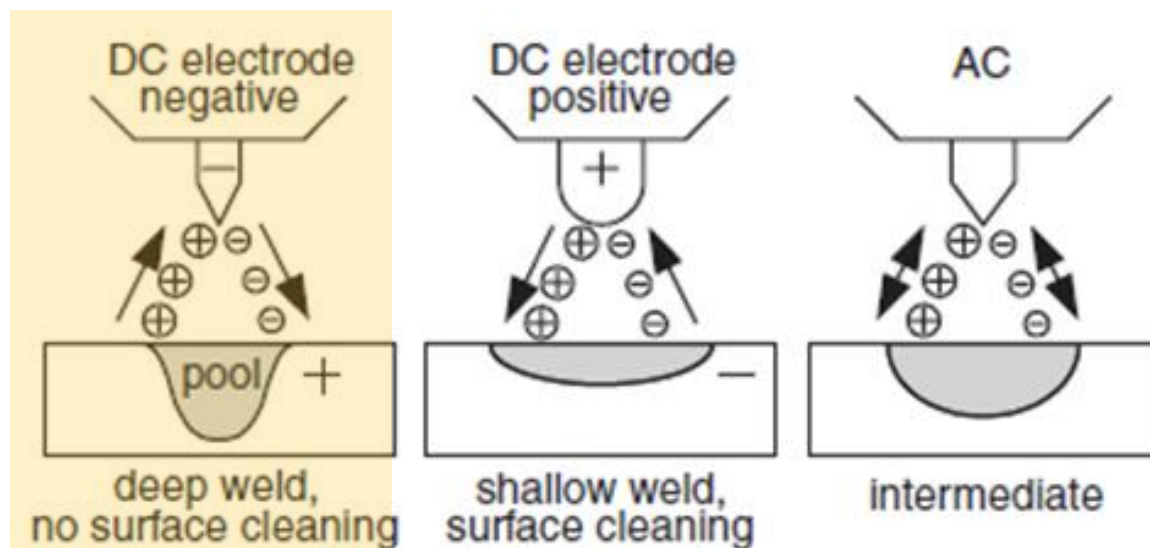
► Desvantagens

- 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 TIG

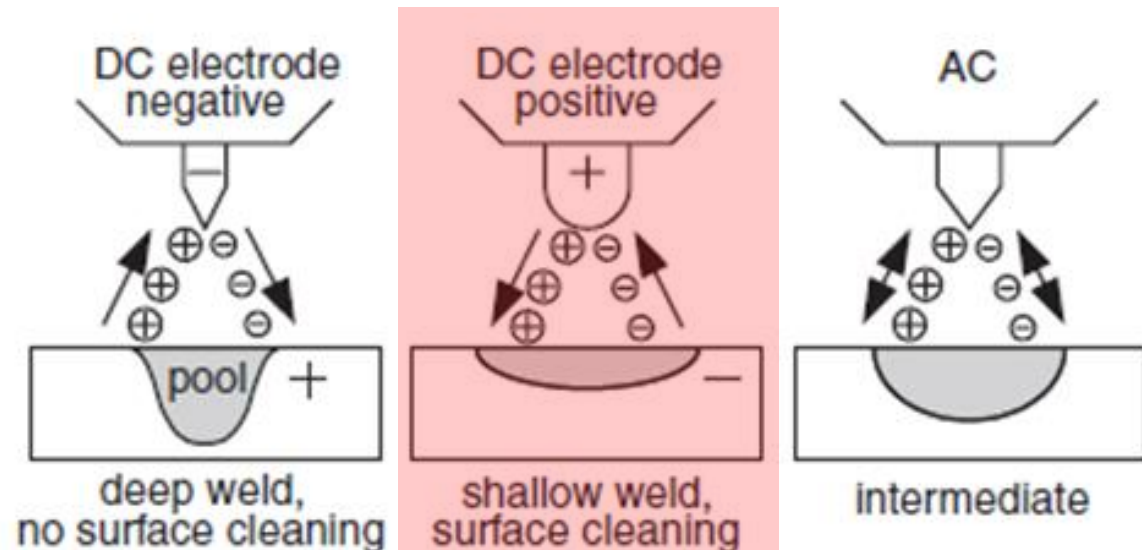
- ▶ Polaridade – Corrente contínua com eletrodo negativo
- Também chamada de polaridade direta
- Polaridade mais comum em soldagem TIG
- Os elétrons são emitidos do eletrodo de tungstênio e acelerados no percurso pelo arco, parte da energia é utilizada para esta aceleração, o que consome maior potência





Soldagem TIG

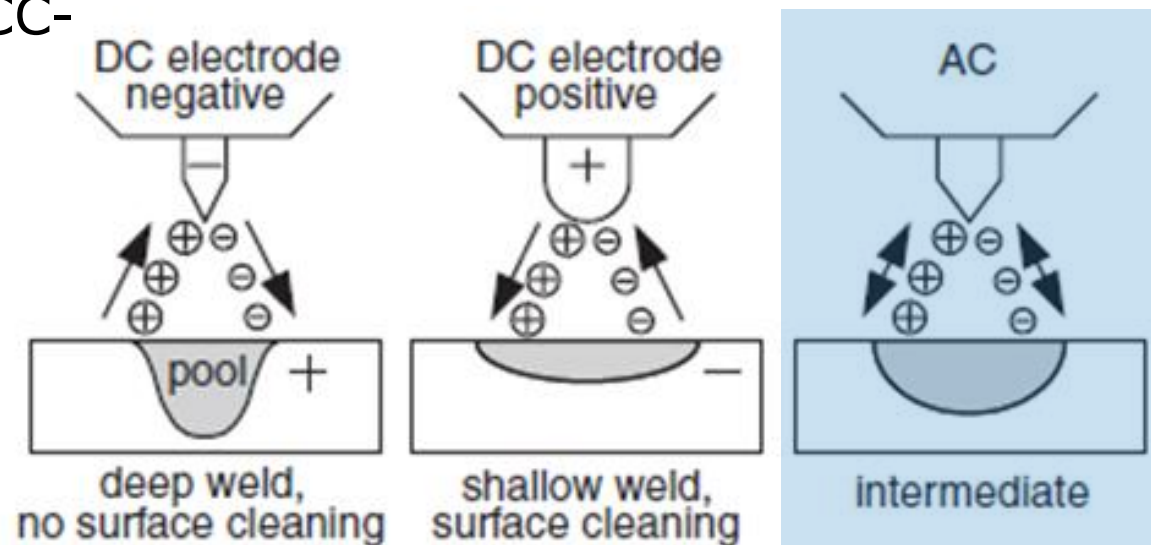
- ▶ Polaridade – Corrente contínua com eletrodo positivo
- Também chamada de polaridade reversa
- Os elétrons são emitidos pela peça, contra o eletrodo
- Arco mais largo e pouco profundo
- Eletrodo deve ser refrigerado a água, para evitar a fusão
- Esta polaridade permite quebrar filmes de óxidos superficiais





Soldagem TIG

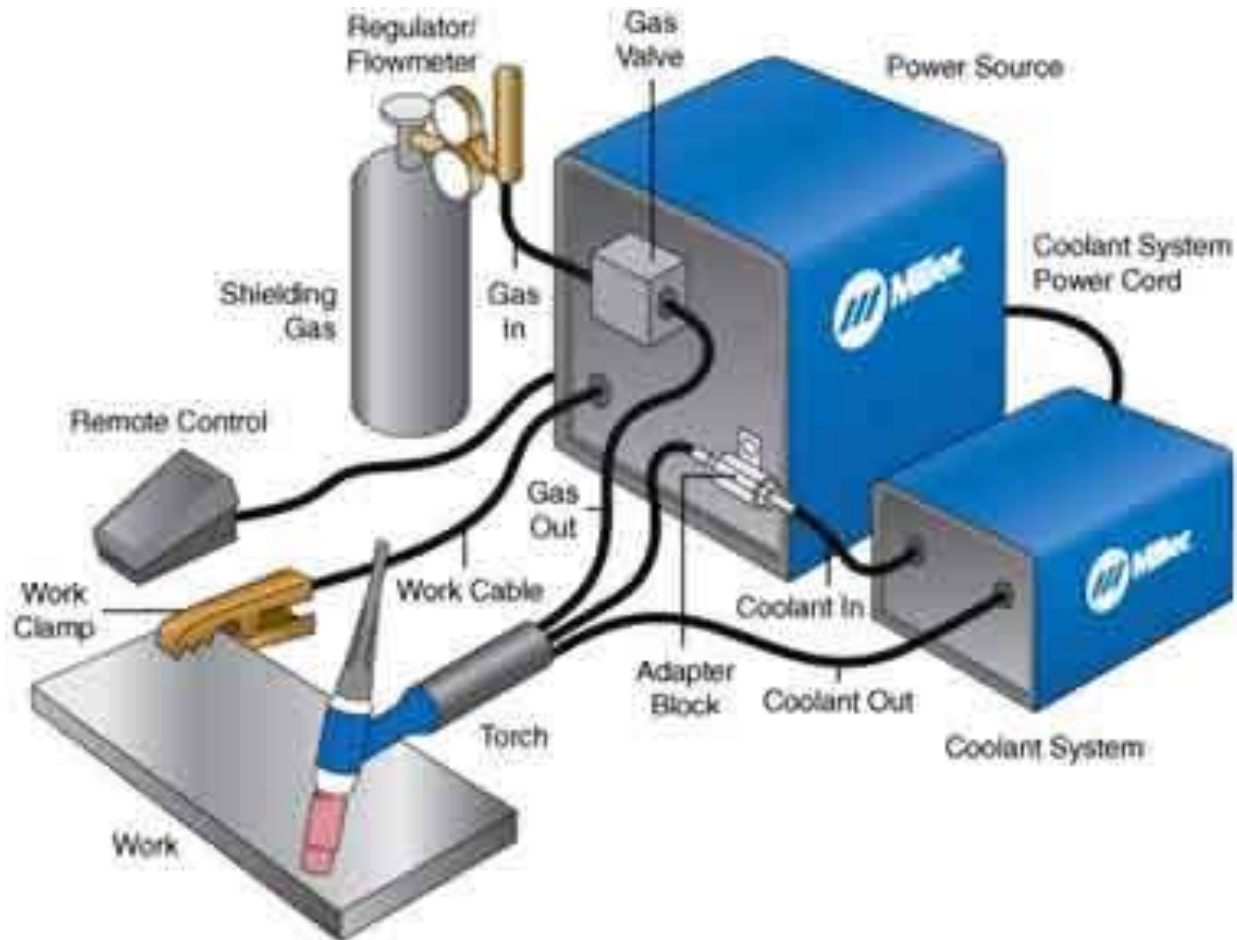
- ▶ Soldagem TIG com corrente alternada
- O uso de CA promove a limpeza na superfície da peça e do eletrodo
- Valores de correntes intermediários
- Calor balanceado entre o eletrodo e o arco
- Arco intermediário em termos de profundidade e largura entre o CC+ e o CC-





Soldagem TIG

► Equipamento





Soldagem TIG

- ▶ Gases – Áreas de aplicação dos principais gases de proteção na soldagem TIG - DIN EN ISO 14175

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

- ▶ Vídeo exemplos

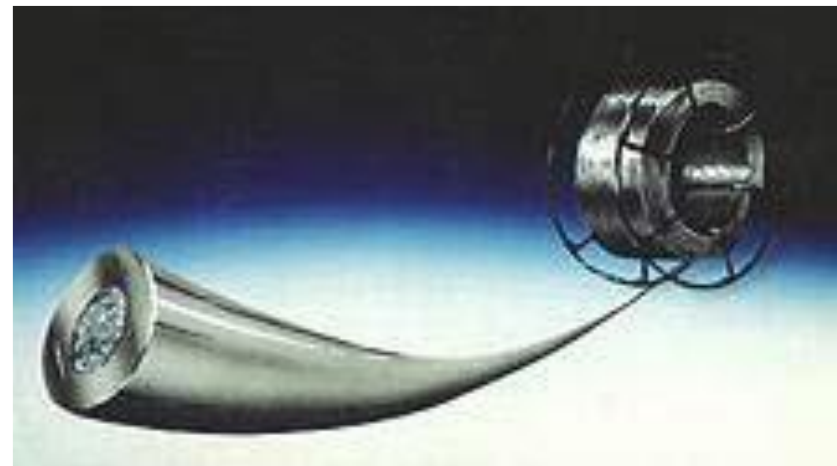
<https://www.youtube.com/watch?v=uO5pVLOAmD4>

https://www.youtube.com/watch?v=9wG0_GWbjlo



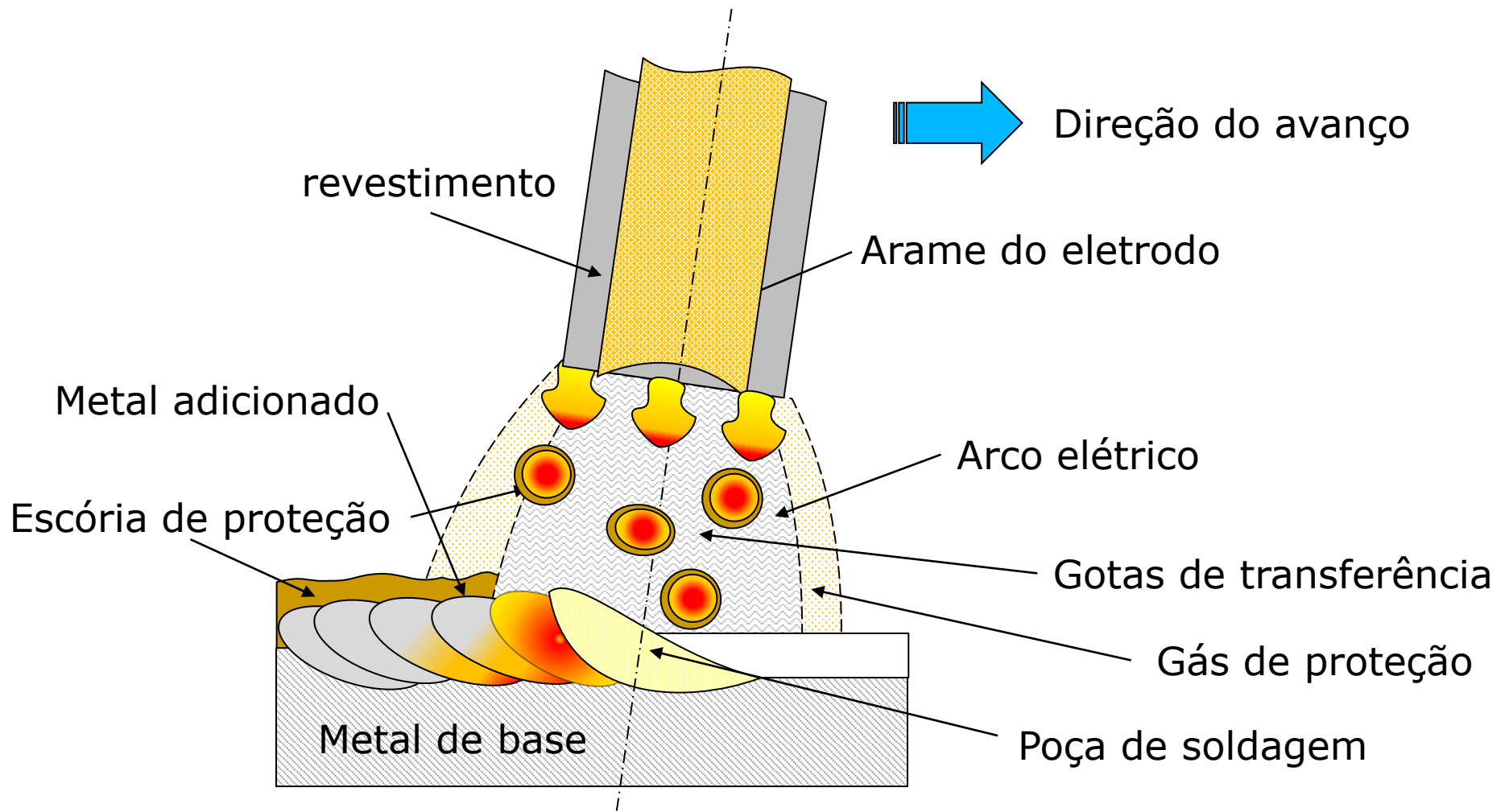
Soldagem Eletrodo tubular

- ▶ Soldagem por eletrodo tubular - ***Flux Core Arc Welding (FCAW)***
- ▶ Este processo pode ser caracterizado por ter um eletrodo onde o elementos 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

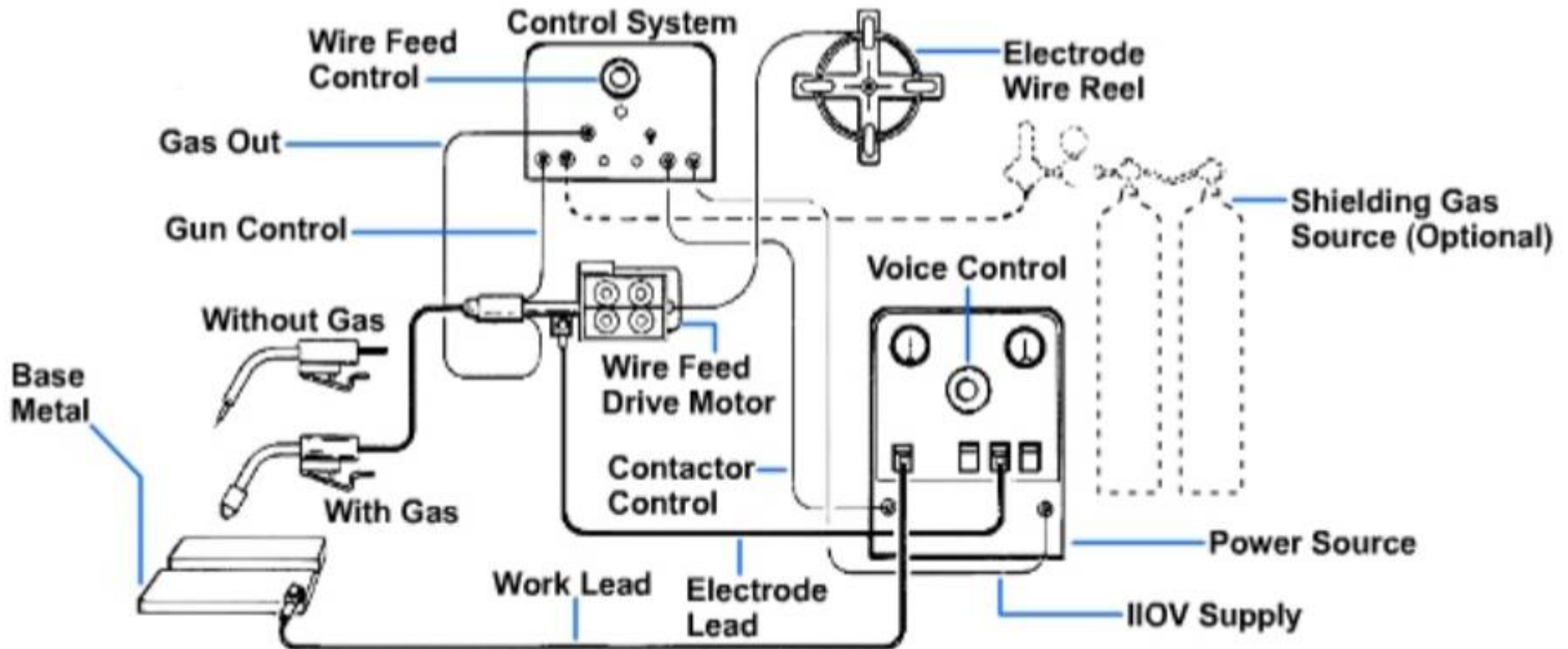
► Desvantagens

- 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

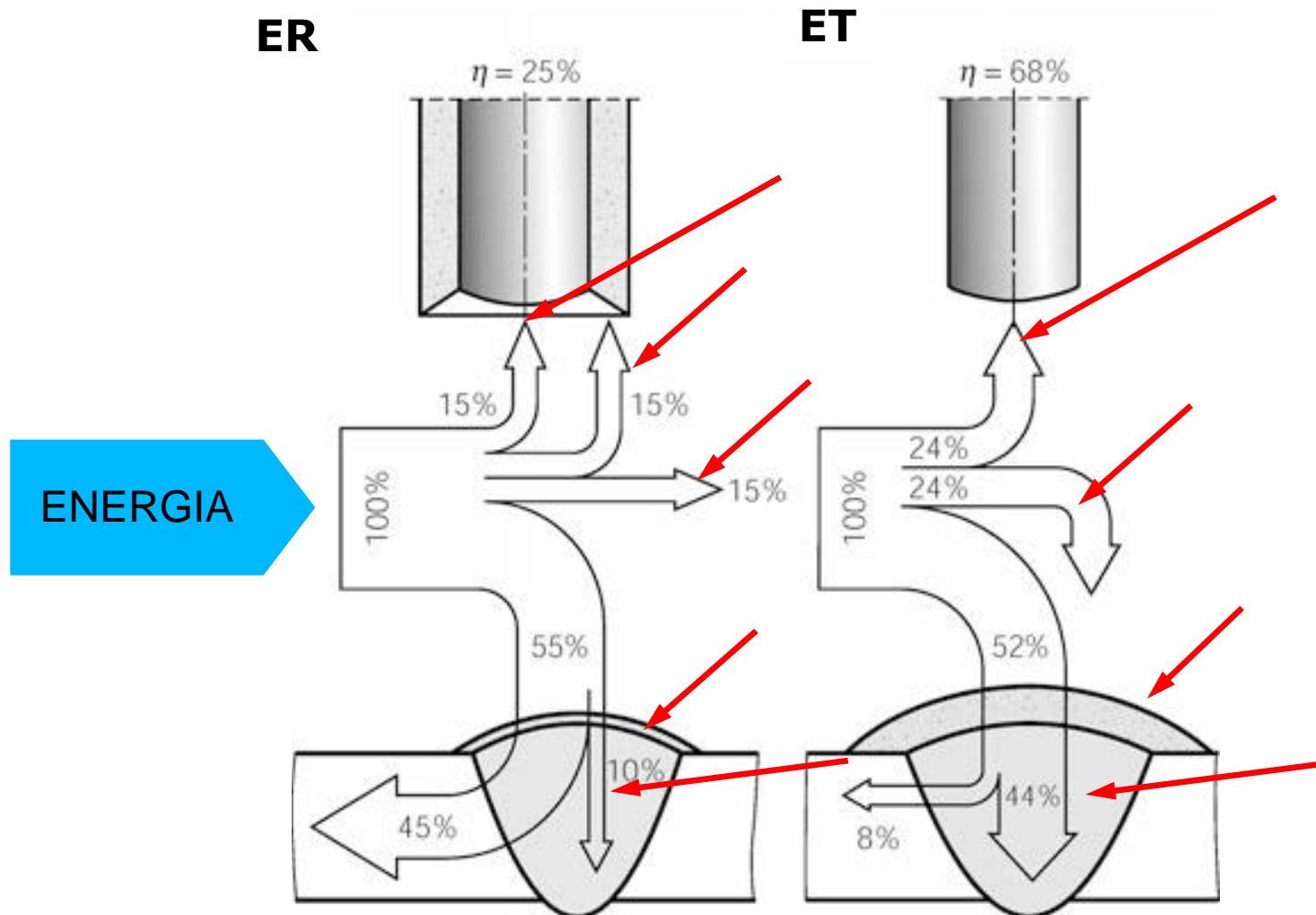
► Equipamentos





Soldagem Eletrodo tubular

► Comparação entre ER e ET





Soldagem Arco submerso

- ▶ Vídeo exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=TPSQJXqSwTg>

<https://www.youtube.com/watch?v=05aa3uKfNho>



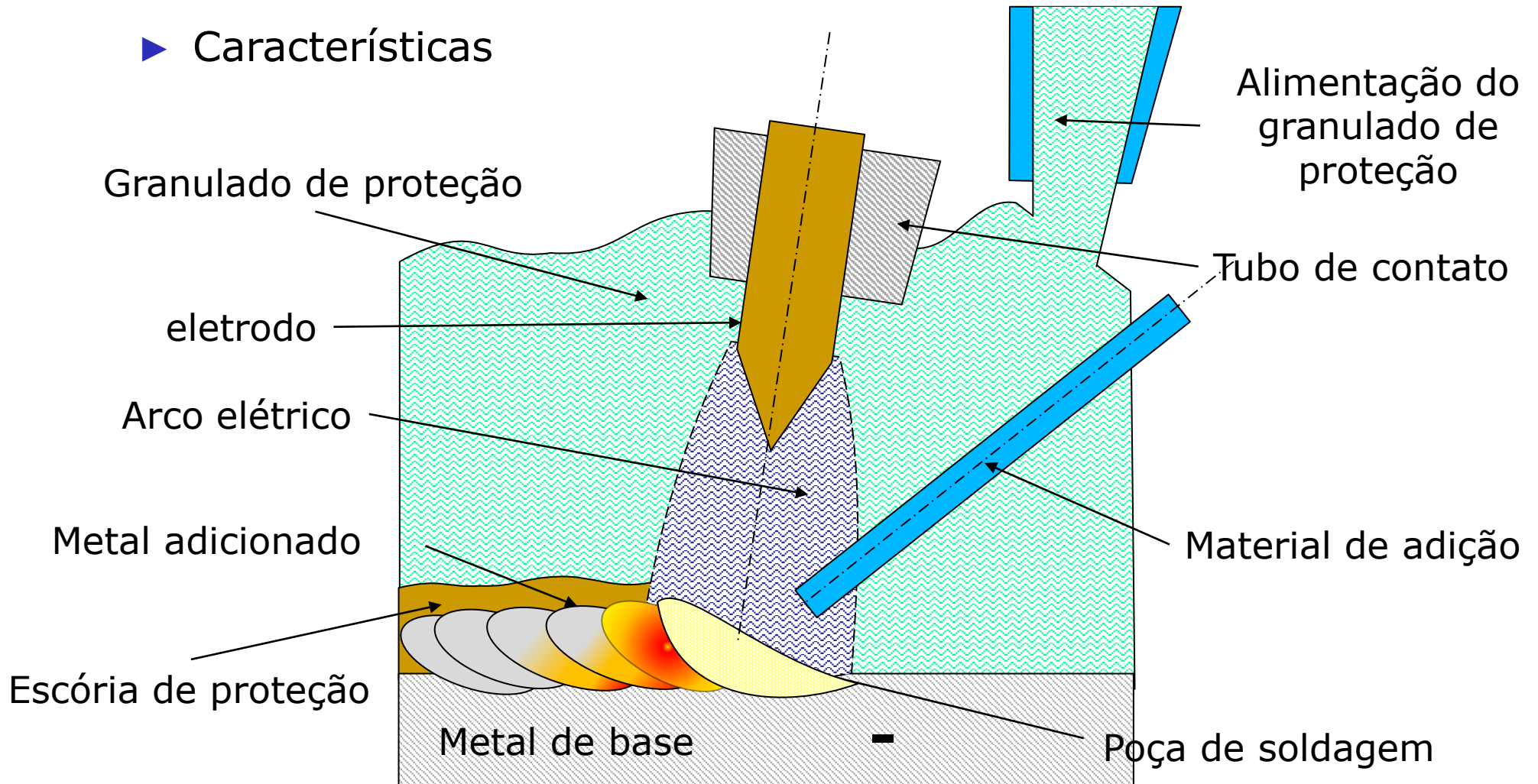
Soldagem Arco submerso

- ▶ 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



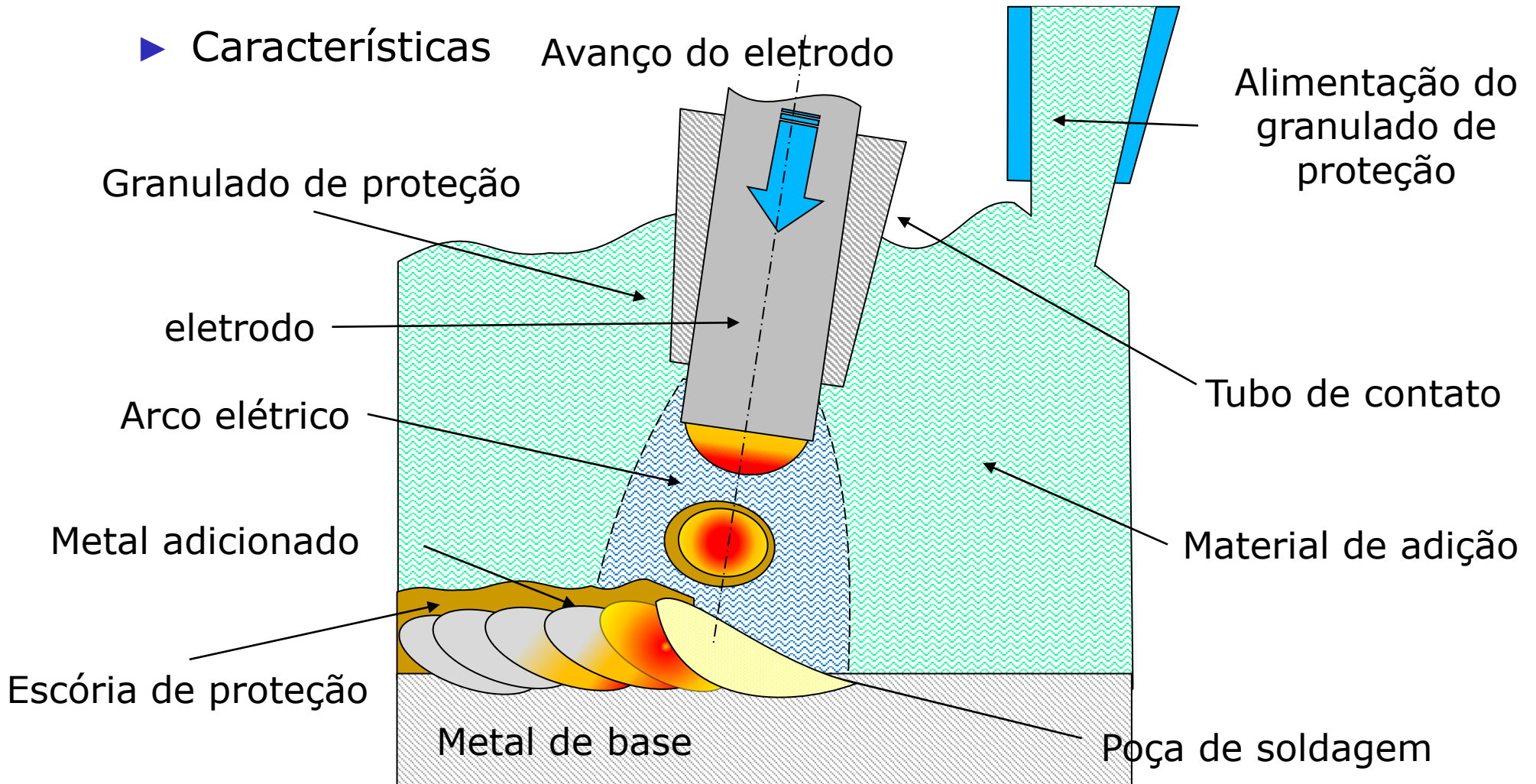
Soldagem Arco submerso

► Características





Soldagem Arco submerso





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

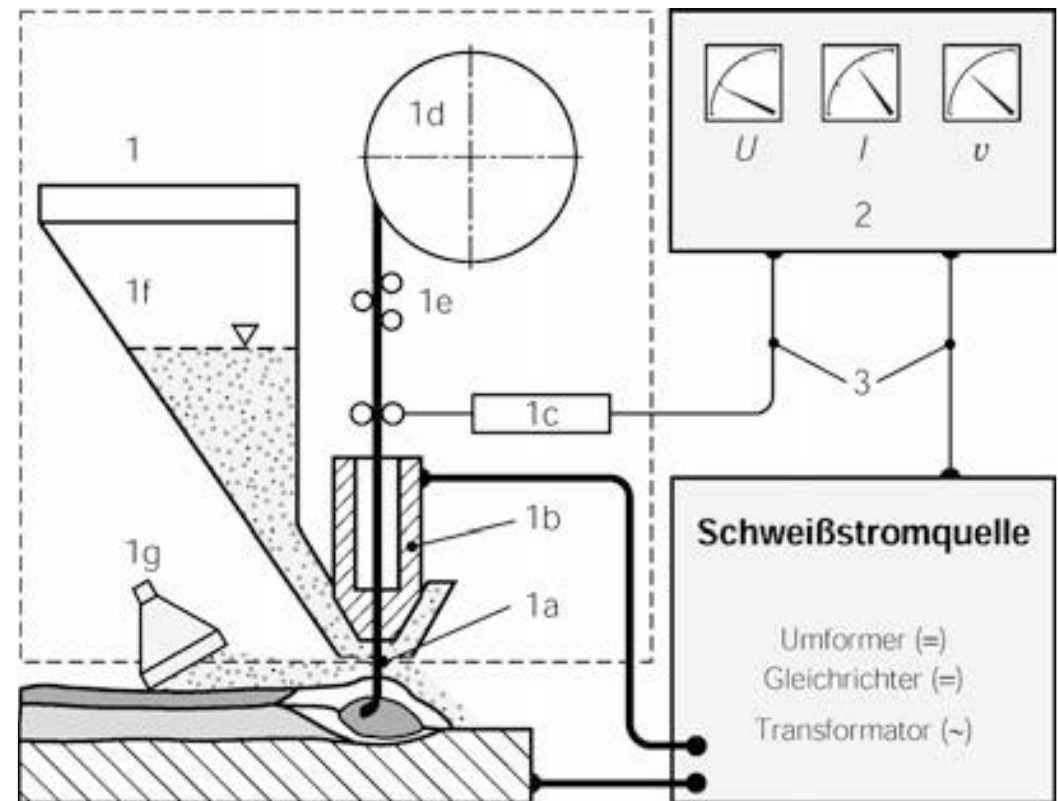
► Desvantagens

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



Soldagem Arco submerso

- ▶ Vídeos exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=H6QGLGJ-BOE>

<https://www.youtube.com/watch?v=xo7gSbEtWIY>



- Fim da Aula -