

# DISCIPLINA PROCESSOS MATERIAIS METÁLICOS III

## MÓDULO: PROCESSOS DE SOLDAGEM

Prof. Maria Ismenia Sodero

[maria.ismenia@usp.br](mailto:maria.ismenia@usp.br)

# OBJETIVOS DO MÓDULO

- Apresentação dos principais processos de soldagem de maior importância tecnológica
- Para um estudo mais detalhado sobre cada um dos processos recomenda-se buscar leitura técnica complementar;
- Processos de Soldagem por Pressão e Processos de Soldagem por fusão

# FINALIDADES

UNIR (JOIN)

REVESTIR

RESTAURAR DIMENSÕES



União tubo X80 x conector 4130



Revestimento interno  
contra corrosão (Inconel)  
de válvula de 4130



Restauração de conector 4130

# FORÇA MOTRIZ

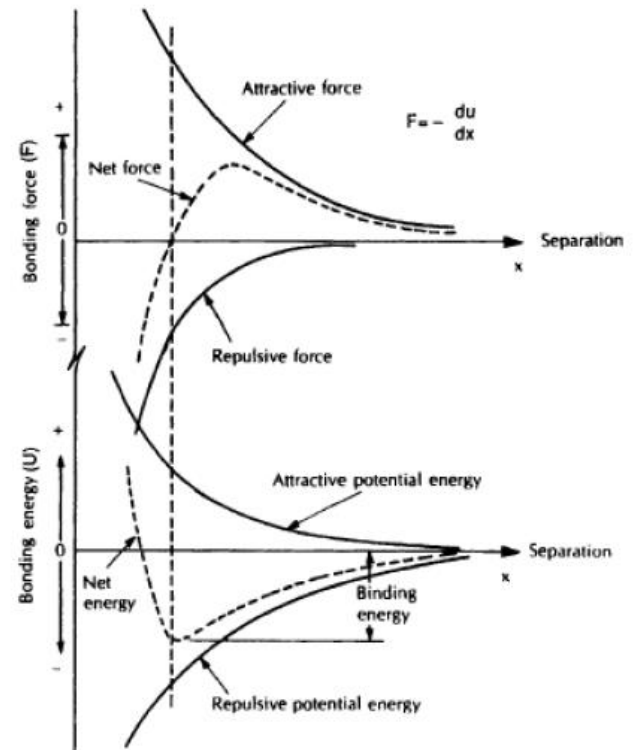


Figure 1.2 The forces and potential energies involved in bond formation leading to welding. (From *Joining of Advanced Materials* by R. W. Messler, Jr., published in 1993 by and used with permission of Butterworth-Heinemann, Woburn, MA).

Variação de energia potencial para um sistema composto de dois átomos em função da distância de separação entre eles.

# A NATUREZA DE UMA SOLDA IDEAL: CONTINUIDADE

## VANTAGENS DE DESVANTAGENS DA SOLDAGEM COMO PROCESSO DE **JUNÇÃO**

### VANTAGENS

- Integridade estrutural
- Ampla gama de processos que podem ser selecionados
- Aplicação para diferentes tipos de materiais
- Operação Manual ou automática
- Pode ser portátil- aplicação em campo
- Juntas estanques em solda contínua
- Custo relativamente baixo

### DESVANTAGENS

- Impossível a desmontagem sem destruição das partes
- O calor envolvido no processo pode degradar propriedades;
- Alteração no *heat input* leva a distorção e tensões residuais
- Requer operador qualificado
- Equipamentos auxiliares podem requerer grandes investimentos (feixe de elétrons, câmara de vácuo)

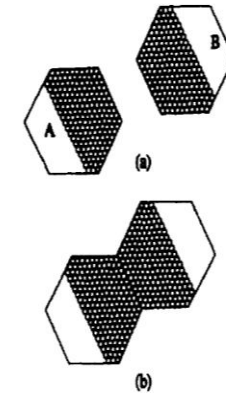


Figure 1.3 The nature of continuity in a metal, with constituent atoms of parts A and B, (a) initially belonging to two separate aggregates (e.g., crystals, grains, or parts), and (b) forming a single assembly or aggregate after welding.

A natureza da continuidade em um metal, com átomos constituintes das partes A e B, (a) pertencendo inicialmente a dois agregados separados (por exemplo, cristais, grãos ou partes), (b) formando uma única montagem ou agregado após a soldagem

# IMPEDIMENTOS PARA UMA SOLDA IDEAL

Os obstáculos podem ser de dois tipos:

Rugosidade em escala microscópica e sub-microscópica, em função do acabamento superficial de cada superfície metálica – impedindo a aproximação efetiva das superfícies, ocorrendo apenas em alguns poucos pontos de contato, de modo que o número de ligações formadas é insuficiente para garantir qualquer resistência para a junta.

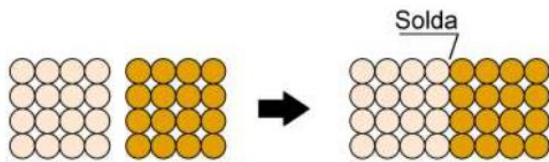


Figura 1.3. Formação teórica de uma solda pela aproximação das superfícies das peças.

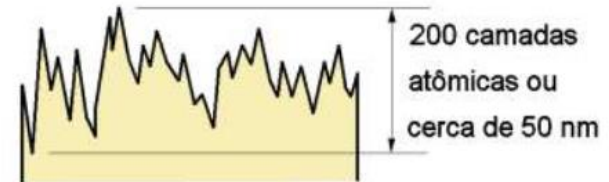
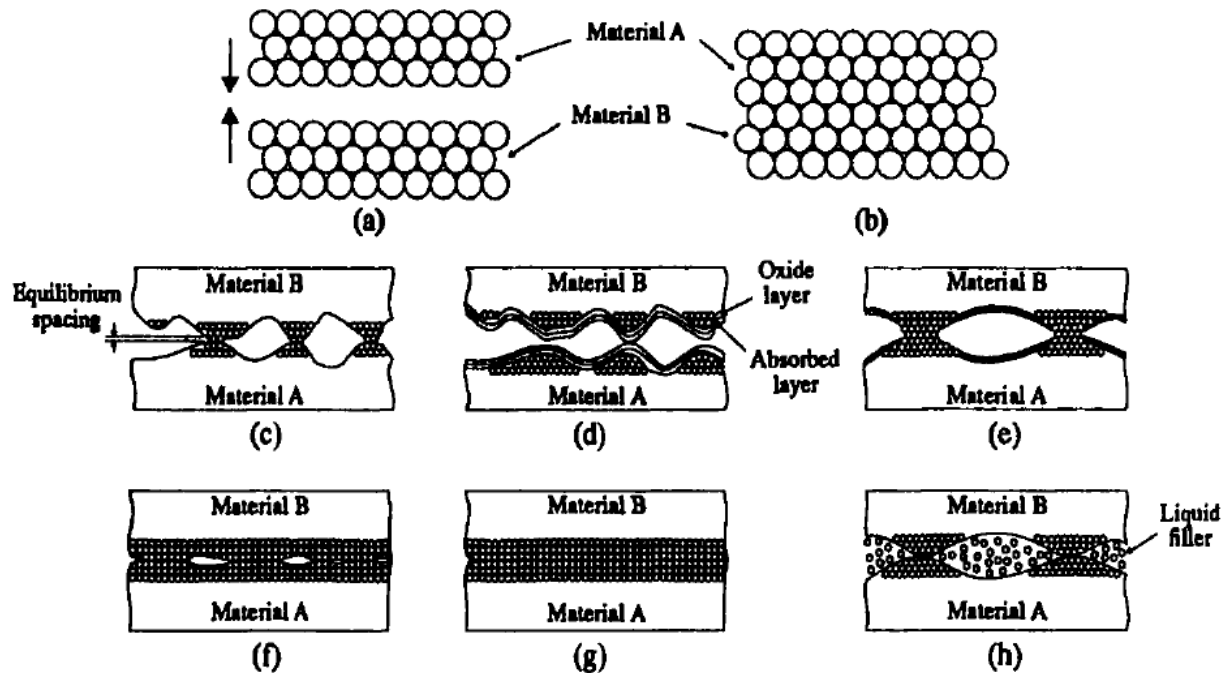


Figura 1.4. Representação esquemática da superfície metálica limpa.

As superfícies metálicas estão recobertas por camadas de óxidos, umidade, gordura, poeira, que impede um contato real entre as superfícies, impedindo a formação das ligações

# MEIOS PARA CONSEGUIR A UNIÃO

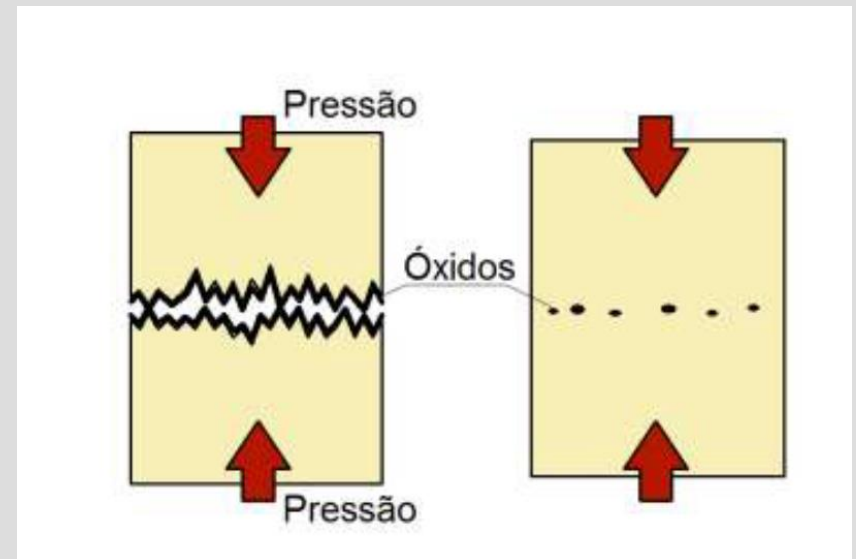
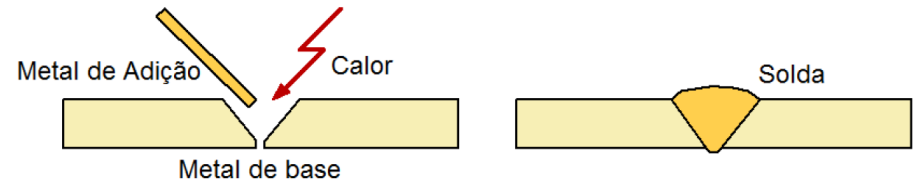


**Figure 1.4** Two perfectly smooth and clean versus two real materials being brought together to attempt to form a weld. An ideal surface (a) to produce an ideal or perfect weld (b). Various real surfaces (c and d) being progressively forced together by pressure (e and f) to form a near-perfect weld (g). Melting to provide a supply of atoms (h) to form a near-perfect weld (g). (Modified but from *Joining of Advanced Materials* by R. W. Messler, Jr., published in 1993 by and used with permission of Butterworth-Heinemann, Woburn, MA.)

# PROCESSOS DE SOLDAGEM

Processo de Soldagem por fusão

Processo de Soldagem por pressão





# PROCESSOS POR PRESSÃO

Soldagem por pressão: deformação severa; SOLDAGEM POR FORJAMENTO

Soldagem por fricção e deformação microscópica;

Soldagem por difusão, sem ou com alguma deformação

Fonte de Energia para soldagem sem fusão:

- E mecânica = fonte de pressão e atrito
- E química = fonte de reação química – reações formadas no estado sólido como resultados da reação química – deposição de vapor e eletroquímica;
- Resistência elétrica = usada para aquecimento e diminuição da tensão.

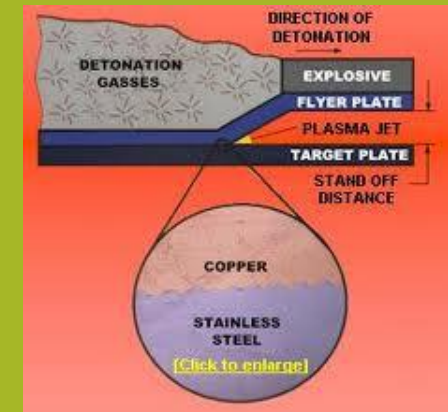
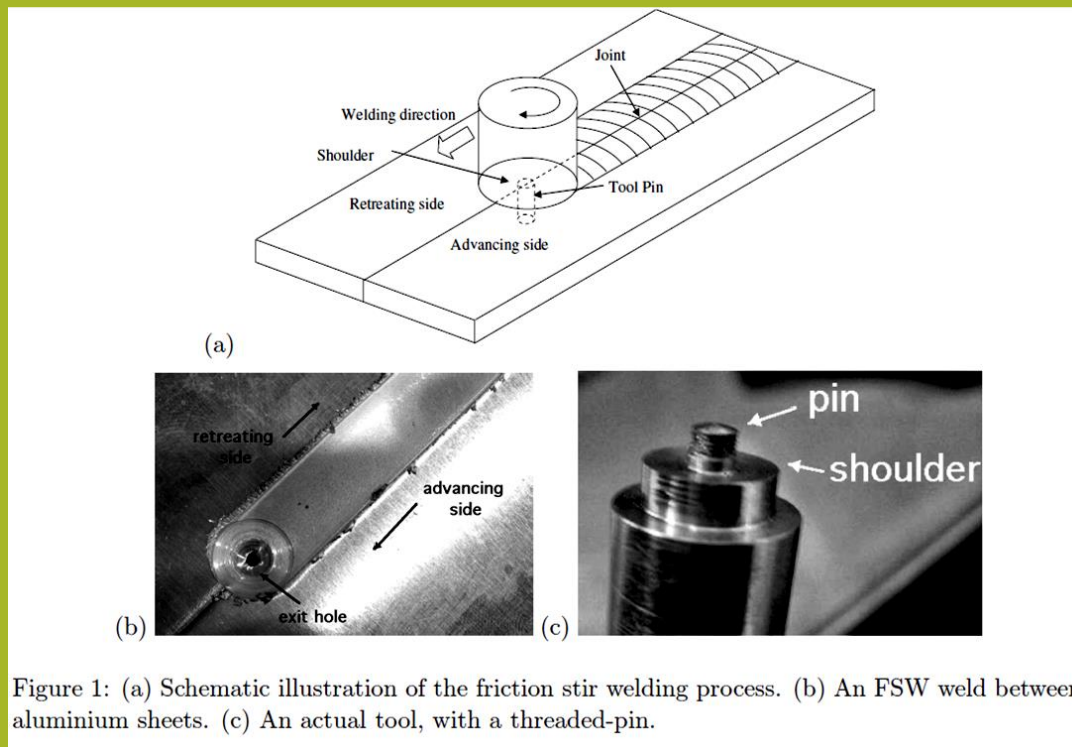
# PROCESSOS POR PRESSÃO

SOLDAGEM POR FORJAMENTO

SOLDAGEM POR EXPLOSÃO

SOLDAGEM POR FRICÇÃO

ultrassom ou fricção (FSW)



# SOLDAGEM POR ULTRASSOM USW

Este tipo de soldagem serve tanto para soldar metais quanto termoplásticos, além de materiais não ferrosos, vidro ou mesmo cerâmica; a diferença entre a soldagem de metais e a de termoplásticos é que no caso dos metais, a soldagem acontece no estado sólido, sem fusão do material de base, enquanto que no caso dos termoplásticos, existe a fusão dos materiais.

A soldagem por ultrassom produz uma solda limpa, de alta qualidade, não requer material de adição e tem um consumo baixo de energia.

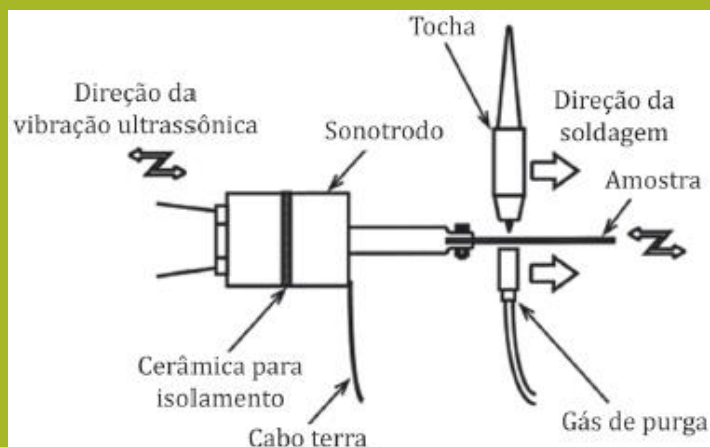
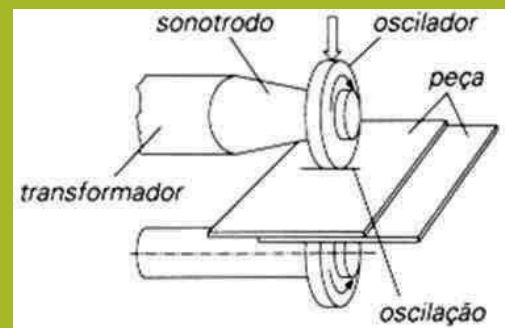


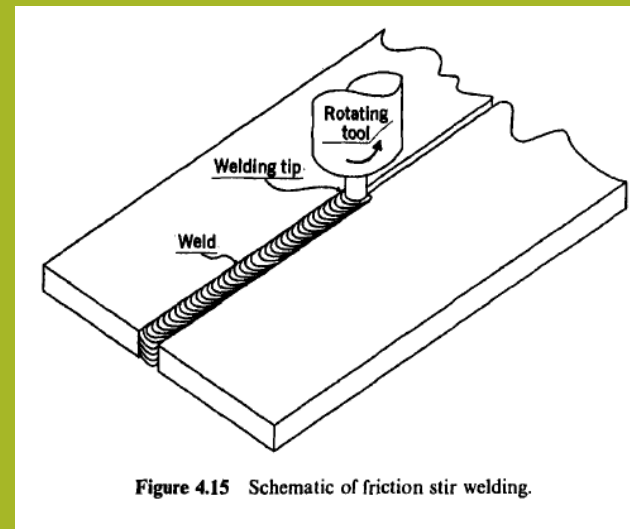
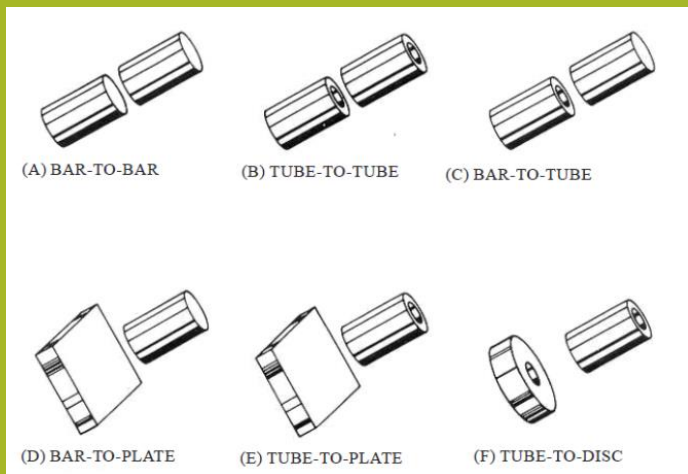
Figura 3. Diagrama esquemático do sistema de vibração ultrassônico empregado por Watanabe et al. [11]



# SOLDAGEM POR FRICÇÃO (FSW)

Nos processos de soldagem por fricção, o calor é gerado pelo atrito entre as superfícies das peças colocadas em movimento relativo e a deformação final pela aplicação, imediatamente a interrupção do movimento entre as peças, de uma força de compressão.

A solda é feita em poucos segundos, tem alta resistência e a zona termicamente afetada (ZTA) é estreita. Este processo é aplicável a diversos materiais, similares ou não.



# SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DO FSW

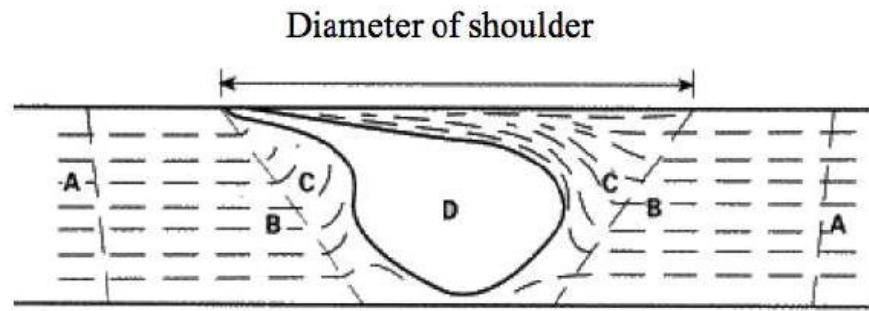
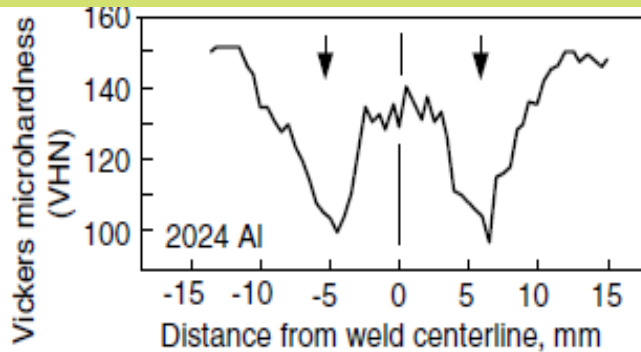


Figure 2: Schematic cross-section of a typical FSW weld showing four distinct zones: (A) base metal, (B) heat-affected, (C) thermomechanically affected and (D) stirred (nugget) zone [9].

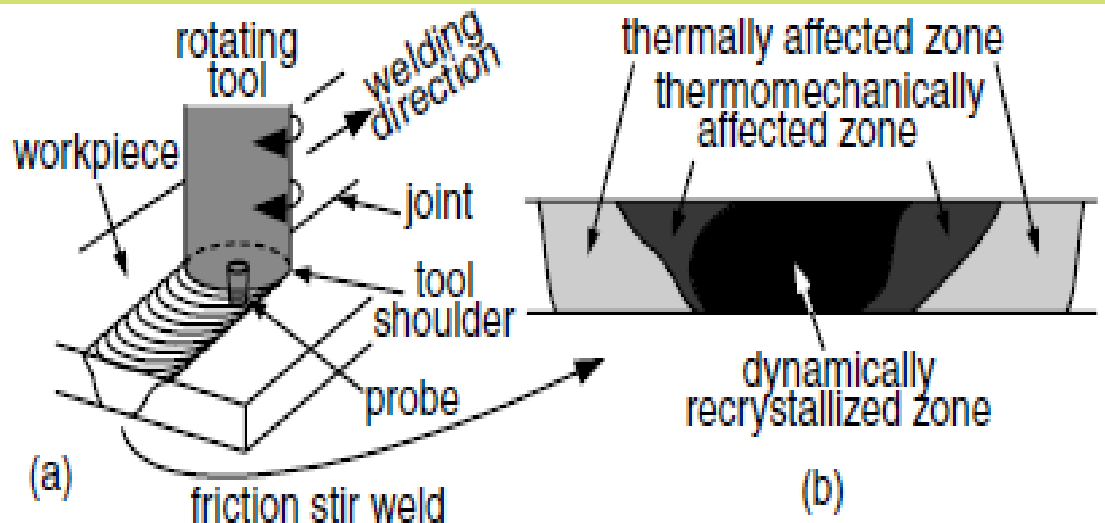
# LIGAS DE ALUMÍNIO SOLDADAS POR FRICÇÃO

Susceptibilidade de trincas durante o processo de arco elétrico. O método de junção mais utilizado é rebitagem;

Tal como na HAZ em soldas por fusão de ligas de alumínio endurecidas por precipitação, o aquecimento durante a soldagem pode causar perda considerável de resistência.



Zona afetada termicamente: estrutura do grão não é afetada pela solda;  
Zona termomecanicamente afetada: grãos severamente torcidos;  
Zona dinamicamente recristalizada (nugget): todos os grãos envelhecidos desaparecem e numerosos grãos recristalizam;



# PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO

Soldagem a gás

Soldagem Oxiacetilênica

Soldagem a arco;

Soldagem a arco com eletrodo revestido /Shielded metal arc welding (SMAW)

Soldagem Tig/ Gas-tungsten arc welding (GTAW)

Plasma arc welding (PAW)

Soldagem MIG/MAG/ Gas-metal arc welding (GMAW)

Flux-cored arc welding (FCAW)

Soldagem por arco submerso/ Submerged arc welding (SAW)

Soldagem por eletroescória/Electroslag welding (ESW)

Soldagem por feixe de alta energia;

Soldagem por feixe de elétrons/ Electron beam welding (EBW)

Soldagem por feixe de laser/ Laser beam welding (LBW)

# PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou alternada	Escória	Automática/Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, espessura $\geq 50$ mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao Arco Submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga. Espessura $\geq 10$ mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o $\text{CO}_2$	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aço carbono com espessura $\geq 1$ mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + $\text{O}_2$ , Argônio + $\text{CO}_2$ , $\text{CO}_2$	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura $\geq 1$ mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
Soldagem a Plasma	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constricto por um bocal	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aço inox. Passe de raiz de soldas em tubulações
Soldagem por Feixe Eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua. Alta Tensão. Peça +	Vácuo ( $\approx 10^{-4}$ mm Hg)	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a Laser	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos
Soldagem a Gás	Chama oxi-acetilênica		Gás ( $\text{CO}$ , $\text{H}_2$ , $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ )	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro



# SOLDAGEM OXIACETILÊNICA (OXYACETYLENE WELDING (OAW))

Processo que funde e junta metais pelo aquecimento deles com uma chama causada pela reação entre um gás combustível e oxigênio.

É o processo de soldagem a gás mais utilizado por causa de sua alta temperatura da chama.

Um fluxo pode ser usado para desoxidar e purificar o metal de solda. O fluxo derrete, solidifica e forma uma camada de escória (Slag) sobre o metal de soldagem resultante.

OAW é usada para materiais com baixo ponto de fusão.

Existem três tipos diferentes de chamas na soldagem oxiacetilênica: chama neutra, chama redutora e chama oxidante

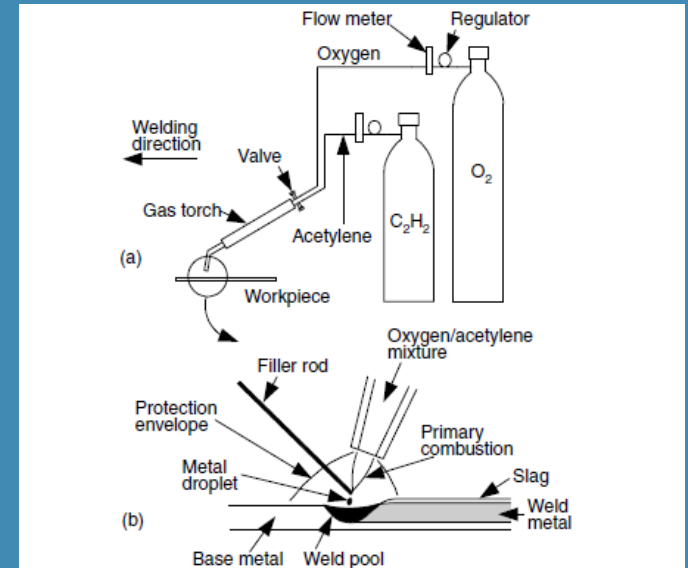


Figure 1.7 Oxyacetylene welding: (a) overall process; (b) welding area enlarged.

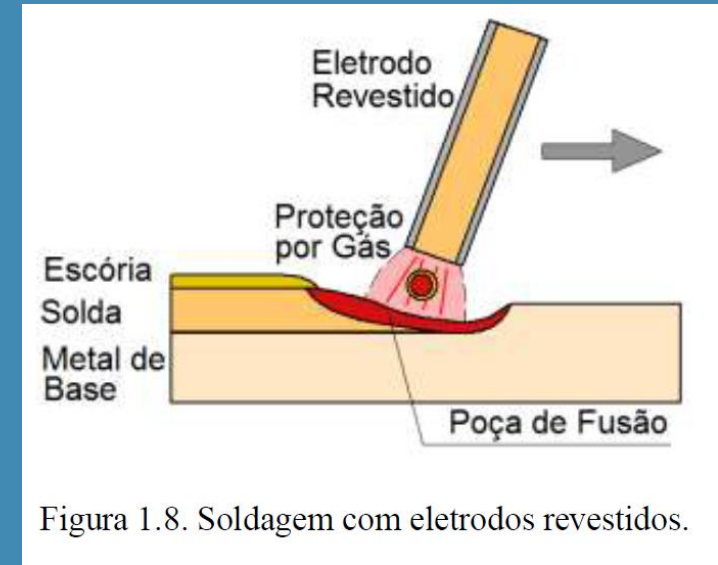
# SOLDAGEM POR ELETRODOS REVESTIDOS (SHIELDED METAL ARC WELDING - SMAW)

É um processo no qual a coalescência dos metais é obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo revestido e a peça;

O eletrodo é formado por um núcleo metálico (alma) recoberto por uma camada de minerais e/ou outros materiais;

A alma do eletrodo conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição.

O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a região sendo soldada e estabilizam o arco. Ainda pode conter elementos que podem ser incorporados à solda, podendo influenciar sua composição química e metalúrgicas



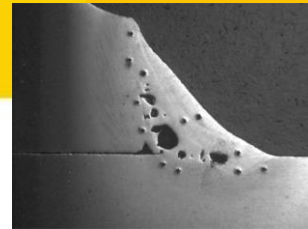
O equipamento consiste de porta-eletrodo, cabos e fonte de energia, que pode ser de corrente contínua ou alternada.

**Corrente contínua permite maior estabilidade do arco e maior qualidade do depósito que a corrente alternada.**

# DEFEITOS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NA SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO

## 1. Porosidade

- Deixa a solda frágil e sem resistência.
- Pode ocorrer dentro da solda e não ser visível.

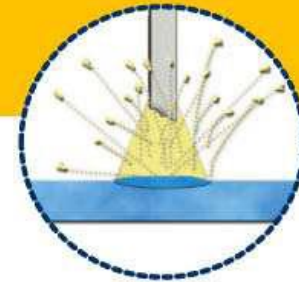


Possíveis Motivos	Soluções
Peça suja, enferrujada ou úmida.	Limpe as superfícies a serem soldadas. Use lixadeira ou escova de aço para remover ferrugem. Use solventes para remover óleo ou graxa. Aqueça com maçarico para remover umidade da peça.
Corrente de soldagem (amperagem) incorreta.	Verifique na embalagem do eletrodo a faixa de corrente adequada para a bitola que está usando. Regule a corrente de soldagem conforme indicado na embalagem.
Velocidade de soldagem muito alta.	Mantenha a poça de solda fundida por mais tempo, permitindo que os gases escapem antes que a solda solidifique.
Distância muito alta do eletrodo à peça (arco longo).	Solde com o eletrodo mais próximo à peça, mantendo um arco curto.
Polaridade incorreta.	Verifique se a polaridade está correta conforme recomendação na embalagem do eletrodo.
Possibilidade de o eletrodo estar úmido.	Seque os eletrodos em estufa ou forno. Veja a tabela "Condições de Armazenamento e Secagem de Eletrodos".

# DEFEITOS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NA SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO

## 2. Excesso de Respingos

- Deixa o acabamento do cordão irregular, embora não afete a resistência da solda.
- Aumenta o custo de limpeza da solda.



### Possíveis Motivos

Corrente de soldagem (amperagem) muito alta.

Distância muito alta do eletrodo à peça (arco longo).

Sopro magnético: o arco se desvia sem que você mova o eletrodo.

Peça suja, enferrujada ou úmida.

Possibilidade de o eletrodo estar úmido.

### Soluções

Verifique na embalagem do eletrodo a faixa de corrente adequada para a bitola que está usando.  
Regule a corrente de soldagem conforme indicado na embalagem.

Solde com o eletrodo mais próximo à peça, mantendo um arco curto.

Mude a posição do cabo terra.  
Melhore o contato elétrico do cabo com a peça.  
Não deixe os cabos enrolados. Isole a peça.

Limpe as superfícies a serem soldadas.  
Use lixadeira ou escova de aço para remover ferrugem e solventes para remover óleo ou graxa.  
Aqueça com maçarico para remover a umidade da peça.

Seque os eletrodos em estufa ou forno.  
Veja a tabela "Condições de Armazenamento e Secagem de Eletrodos".

# DEFEITOS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NA SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO

## 4. Falta de Fusão e Falta de Penetração

- Reduzem a resistência da solda.
- Atuam como pontos de início de trincas quando a peça está em serviço.



### Possíveis Motivos

Corrente de soldagem (amperagem) muito baixa.

Velocidade de soldagem muito alta.

Bitola do eletrodo muito grossa, ou chanfro muito apertado.

Abertura excessiva da junta.

Em peças espessas, ocorre falta de penetração na raiz da solda.

Ângulo de eletrodo ou movimentação do eletrodo (tecimento) inadequados.

Distância muito alta do eletrodo à peça (arco longo).

### Soluções

Verifique na embalagem do eletrodo a faixa de corrente adequada para a bitola que está usando. Use do meio da faixa para cima.

Reduza a velocidade de soldagem para um enchimento correto no centro e nas laterais da junta. Prefira cordões retos, sem tecimento.

Use a menor bitola do eletrodo. Aumente o ângulo do chanfro para facilitar o acesso do eletrodo. Solde na posição plana, para facilitar o acesso ao chanfro.

Procure reduzir a abertura da junta, ou use uma técnica de tecimento adequada para encher a abertura.

Monte melhor a peça, permitindo uma pequena abertura entre as chapas no fundo da junta.

Mude o ângulo do eletrodo para que a força do arco segure o metal nas laterais. Mantenha velocidade de soldagem adequada e evite um tecimento excessivo.

Solde com o eletrodo mais próximo à peça, mantendo um arco curto.

# DEFEITOS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NA SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO

## 5. Inclusão de Escória

- Reduz a resistência da solda.
- Atua como pontos de início de trincas quando a peça está em serviço.
- Pedacos de escória ficam retidos na solda, deixando-a frágil.



### Possíveis Motivos

### Soluções

Entre um cordão e outro, a escória não foi removida corretamente.

Remova totalmente a escória antes de aplicar outro cordão de solda. Além da picadeira, use escova de aço.

Na troca de eletrodo, a escória não foi removida adequadamente do final da solda.

Ao substituir um eletrodo, limpe o final da solda para começar a soldagem em uma superfície limpa, sem escória.

A escória dos cordões de ponteamto para a montagem da peça não foi adequadamente removida.

Após montar a peça, remova totalmente a escória dos cordões de ponteamto. Além da picadeira, use escova de aço.

Ângulo de eletrodo ou movimentação do eletrodo (tecimento) inadequados.

Mude o ângulo do eletrodo para que a escória líquida não ultrapasse a poça de solda. Mantenha velocidade de soldagem adequada e evite um tecimento excessivo.

Bitola do eletrodo muito grossa, ou chanfro muito apertado. A escória não destaca com facilidade.

Use a menor bitola do eletrodo. Aumente o ângulo do chanfro para facilitar o acesso do eletrodo e facilitar a remoção de escória entre cordões.

Fonte: Infosolda

# DEFEITOS QUE PODEM SER ENCONTRADOS NA SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO

## 6. Trincas

- Muitos tipos de trincas podem ocorrer em uma solda. Algumas são visíveis, outras não.
- Todos os tipos de trincas são considerados potencialmente sérios e devem ser evitados ou reparados.
- Podem se propagar, quebrando totalmente a peça quando em serviço.



### Possíveis Motivos

### Soluções

Trinca de cratera, no final do cordão o arco é fechado muito rápido.

No final do cordão, retorne ou pare o deslocamento para encher adequadamente a cratera de solda.

Teor de carbono ou enxofre elevado no metal base.

Use eletrodo tipo E-7018 devidamente seco. Pré-aqueça a peça. Reduza a penetração, usando baixa corrente de solda e eletrodos de menor bitola.

Peça muito espessa ou junta muito rígida.

Use eletrodo tipo E-7018 devidamente seco. Pré-aqueça a peça. Reduza a penetração usando baixa corrente de solda e eletrodos de menor bitola.

Cordão de solda muito côncavo ou muito convexo.

Prefira cordões planos ou ligeiramente convexos.

Possibilidade de o eletrodo estar úmido.

Seque os eletrodos em estufa ou forno. Veja tabela "Condições de Armazenamento e Secagem".

Junta ou chanfro incorreto em peças espessas ou com vários passes.

Melhore a montagem de forma a permitir o metal base dilatar e contrair livremente. Use chanfro mais aberto. Pré-aqueça a peça.

Fonte: Infosolda

# SOLDAGEM TIG (TUNGSTEN INERT GAS)

(GTAW – GAS TUNGSTEN ARC WELDING)

Coalescência dos metais é obtido pelo aquecimento destes por um arco estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça;

A proteção do eletrodo e da zona da solda é feita por um gás inerte, normalmente, argônio, ou mistura de gases inertes (Ar e He)

Pode ser utilizado ou não metal de adição.

Pode ser manual ou mecanizada;

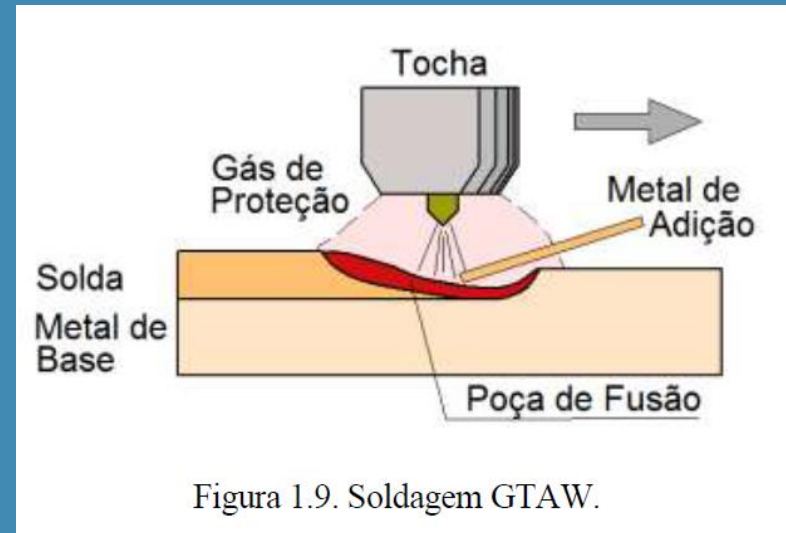


Figura 1.9. Soldagem GTAW.

Equipamento consiste de fonte de energia, que geralmente é corrente contínua, tocha com eletrodo de W, fonte de gás de proteção (Ar e He) e sistema para abertura do arco;



# VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TIG

Tabela 1.V Vantagens, limitações e aplicações da soldagem GTAW.

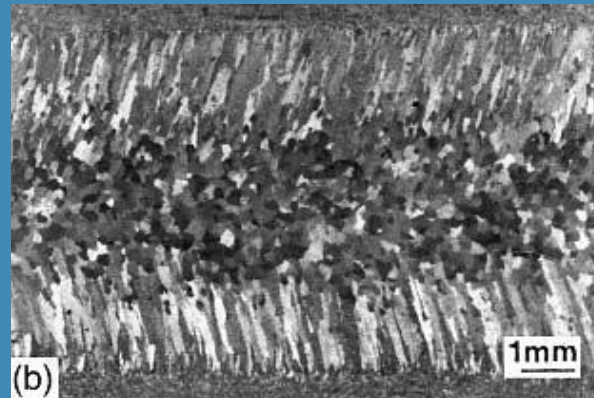
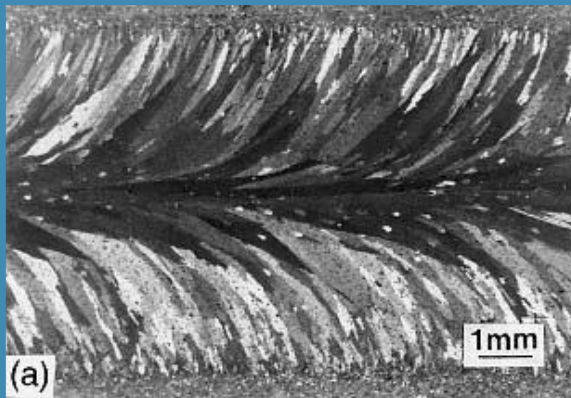
Vantagens e limitações	Aplicações
Excelente controle da poça de fusão.	Soldagem de precisão ou de elevada qualidade.
Permite soldagem sem o uso de metal de adição.	Soldagem de peças de pequena espessura e tubulações de pequeno diâmetro.
Pode ser usado para soldar a maioria dos metais.	Execução do passe de raiz em tubulações.
Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento.	Soldagem de ligas especiais, não ferrosas e materiais exóticos.
Gera pouco ou nenhum respingo.	
Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem.	
Permite a soldagem em qualquer posição.	
Produtividade relativamente baixa.	
Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado.	

**Processo GTAW é bastante versátil e permite modificações microestruturais importantes (refino de grão, por exemplo) mediante variação dos parâmetros de soldagem!**

# SOLDAGEM TIG (TUNGSTEN INERT GAS)

(GTAW – GAS TUNGSTEN ARC WELDING)

## Efeito da potência e da velocidade de soldagem

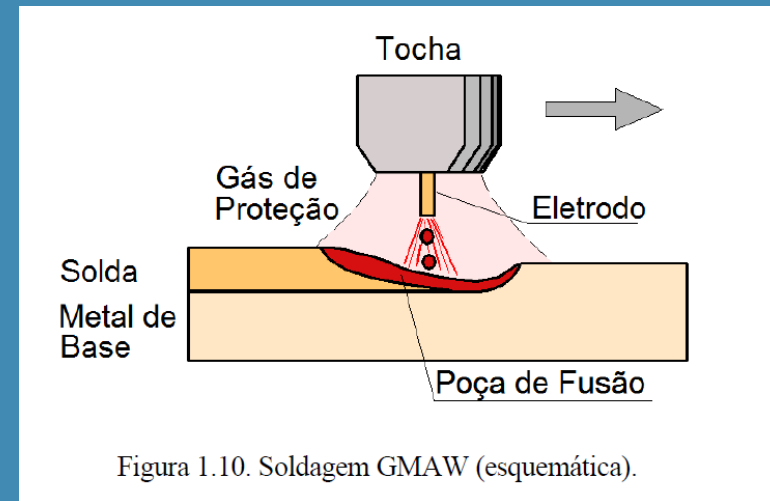


Effect of welding parameters on grain structure in GTAW of 6061 Al-alloy: (a) 70 A, 11 V and 5.1 mm/s welding speed; (b) 120 A, 11 V and 12.7 mm/s welding speed.

# SOLDAGEM GMAW – GAS METAL ARC WELDING) MIG (METAL INERT GAS) /MAG (METAL ATIVE GAS)

É um processo de soldagem a arco que produz coalescência dos metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo e consumível e a peça;

Processo geralmente semi automático e apresenta elevada produtividade



Equipamento consiste de fonte de energia, que geralmente é corrente contínua, tocha com eletrodo de W, fonte de gás de proteção (Ar e He) e sistema para abertura do arco;

# VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MIG/MAG

Tabela 1.VI Vantagens, limitações e aplicações da soldagem GMAW.

Vantagens e limitações	Aplicações
Processo com eletrodo contínuo.	Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas.
Permite soldagem em qualquer posição.	Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos.
Elevada taxa de deposição de metal.	Soldagem de tubulações, etc.
Elevada penetração.	
Pode, em princípio, soldar diferentes ligas metálicas.	
Exige pouca limpeza após soldagem.	
Processo exige, em geral, menos habilidade do soldador que a soldagem SMAW.	
Processo de ajuste mais difícil e sensível que o processo SMAW.	
Equipamento relativamente caro e complexo.	
Pode apresentar dificuldade para soldar juntas de acesso restrito.	
Proteção do arco é sensível a correntes de ar.	
Pode gerar elevada quantidade de respingos.	

Principal vantagem da MIG sobre a TIG é a taxa de deposição, muito maior. Permite a soldagem de peças mais espessas com velocidades maiores;

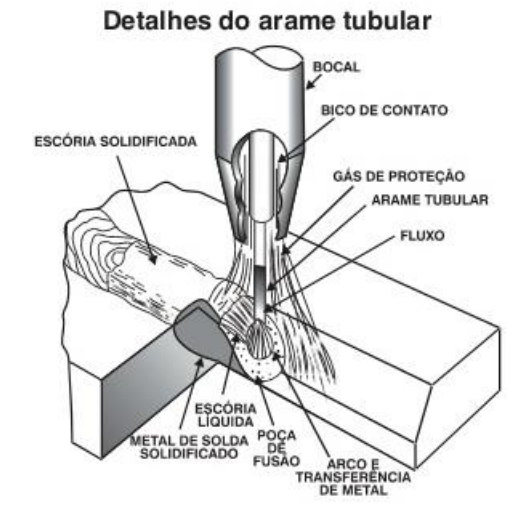
Pode ser utilizada a dual Tocha, que aumenta ainda mais a taxa de deposição.

# SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR (FLUX CORED ARC WELDING – FCAW)

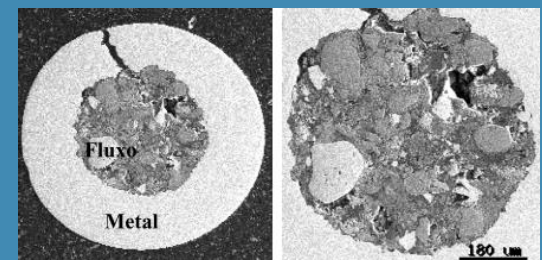
É um processo no qual a coalescência dos metais é obtida pelo aquecimento destes por um arco entre um eletrodo tubular contínuo e a peça. O eletrodo tubular apresenta internamente um fluxo que desempenha as funções de estabilizar o arco e ajustar a composição da solda.

Arares tubulares são invólucros metálicos com um pó em seu interior que podem conter minerais, ferros-liga e materiais que forneçam gases de proteção, desoxidantes e materiais formadores de escória;

O arame tubular apresenta internamente um fluxo que desempenha funções como estabilização do arco, ajuste de composição da solda, proteção.



Seção transversal de um arame tubular com o fluxo interno contendo diferentes materiais, inclusive adições metálicas, MEV.



# VANTAGENS E DESVANTAGENS ARAME TUBULAR

Tabela 1.VII Vantagens, limitações e aplicações da soldagem FCAW.

Vantagens e limitações	Aplicações
Elevada produtividade e eficiência.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga.
Soldagem em todas as posições.	Soldagem de fabricação e de manutenção.
Custo relativamente baixo.	Soldagem de partes de veículos.
Produz soldas de boa qualidade e aparência.	Soldagem de montagem no campo.
Equipamento relativamente caro.	
Pode gerar elevada quantidade de fumos.	
Necessita limpeza após soldagem.	

# SOLDAGEM ARCO SUBMERSO

## SUBMERGED ARC WELDING - SAW

É um processo no qual a coalescência dos metais é produzida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo e a peça. O arco é protegido por uma camada de material fusível granulado (fluxo) que é colocado sobre a peça enquanto o eletrodo é alimentado continuamente.

O fluxo granulado funde-se parcialmente, formando uma camada de escória líquida, que depois é solidificada.

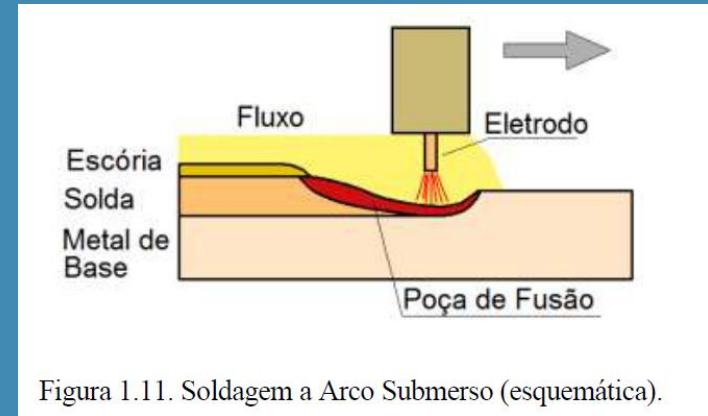


Figura 1.11. Soldagem a Arco Submerso (esquemática).

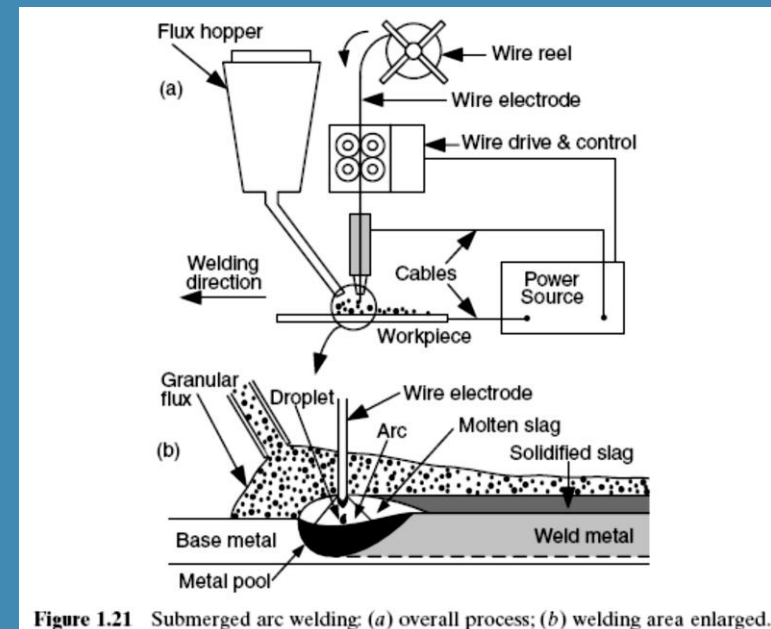


Figure 1.21 Submerged arc welding: (a) overall process; (b) welding area enlarged.

# VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ARCO SUBMERSO

Tabela 1.VIII Vantagens, limitações e aplicações da soldagem a arco submerso.

Vantagens e limitações	Aplicações
Alta velocidade de soldagem e elevada taxa de deposição.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga.
Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial.	Soldagem de níquel e suas ligas.
Ausência de respingos e fumos.	Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro.
Dispensa proteção contra radiação uma vez que o arco não é visível.	Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço.
Facilmente mecanizado.	Soldagem de recobrimentos, manutenção e reparo.
Elevada produtividade.	
Soldagem limitada às posições plana e filete horizontal.	
Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades da junta em alguns casos.	
Necessidade de retirada de escória entre passes.	