

# **1. Introdução à Soldagem**

**1.1 Métodos de União de Metais**

**1.2 Definição de Soldagem**

**1.3 Formação de uma Junta Soldada**

**1.4 Processos de Soldagem**

**1.5 Pequeno Histórico da Soldagem**

**1.6 Comparação da Soldagem com outros  
Processos de Fabricação:**

# 1.1 Métodos de União de Metais

## Duas categorias principais:

- 1 Forças macroscópicas entre as partes a serem unidas.
- 2 Forças microscópicas interatômicas e intermoleculares.

### **1 Parafusagem e rebitagem:**

Resistência da junta: resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite + forças de atrito entre superfícies em contato.

### **2 Brasagem, soldagem e colagem:**

União pela aproximação de átomos ou moléculas das peças a serem unidas, até distâncias muito pequenas para a formação de ligações químicas (ligações metálicas e de Van der Waals).

## 1.2 Definição de Soldagem

### **Soldagem:**

- ✓ Abrange grande número de processos distintos.
- ✓ Fabricação e recuperação de peças.

### **Corte de peças metálicas:**

- ✓ Assemelha-se à soldagem em muitos aspectos.

### **“Processo de União de Metais por Fusão”**

Note que não apenas os metais são soldáveis, e é possível soldar sem fusão.

**“Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas”.**

Esta definição pode excluir alguns processos onde se soldam diferentes materiais entre si.

## 1.2 Definição de Soldagem

**“Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem uso de pressão ou material de adição.”**

Definição adotada pela AWS. É meramente operacional. Não apresenta ponto de vista conceitual.

**Conclusão:**

**“Soldagem”** Não conseguiu ainda ser precisamente definida.

**Não impediu seu desenvolvimento e aplicação prática.**

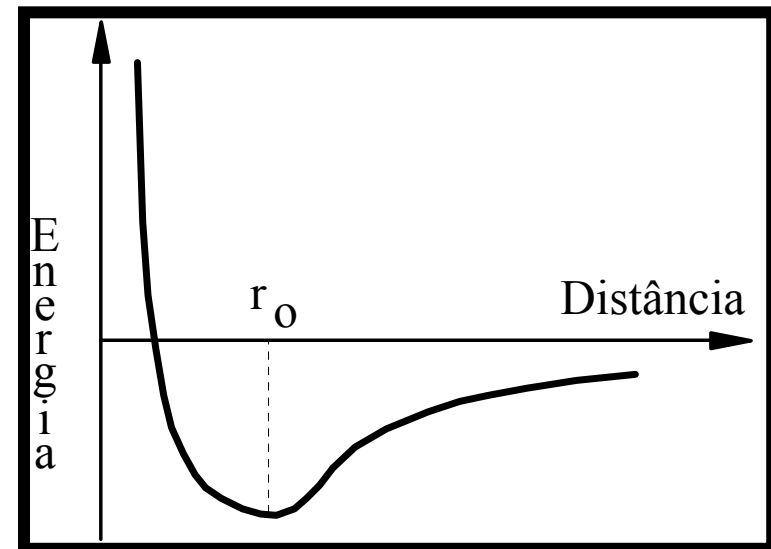
## 1.3 Formação de uma Junta Soldada

❑ **Peça metálica:** formada por um número muito grande de átomos, dispostos em arranjo espacial característico de sua estrutura cristalina.

❑ **Interior desta estrutura:** cada átomo cercado por vizinhos, posicionados a uma distância  $r_0$ , onde a energia do sistema é mínima.

❑ Cada átomo está na condição de energia mínima, não tendendo a se ligar a nenhum outro.

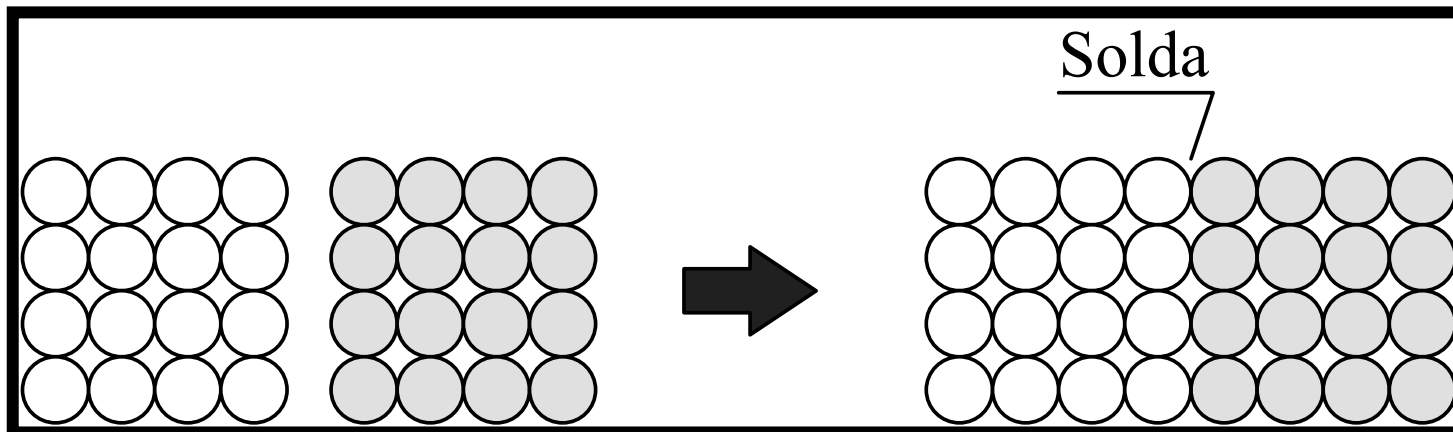
❑ **Válido no interior do sólido.**



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

## ❑ Na superfície do sólido:

- ✓ Átomos estão ligados a um número menor de vizinhos.
- ✓ Possuem mais energia que os átomos no interior do sólido.
- ✓ Esta energia poderia ser diminuída se estes átomos superficiais ligarem-se a outros (diminuindo a energia total do sistema).
- ✓ Aproximando-se duas peças a uma distância suficiente para que forças interatômicas possam agir, formando ligações permanentes, as peças estariam soldadas.



**Exemplo:** colocar em contato íntimo dois blocos de gelo.

**“Isto não ocorre para duas peças metálicas.”**

**Motivo:** existência de obstáculos que impedem a aproximação efetiva das duas superfícies até distâncias da ordem de  $r_0$ .

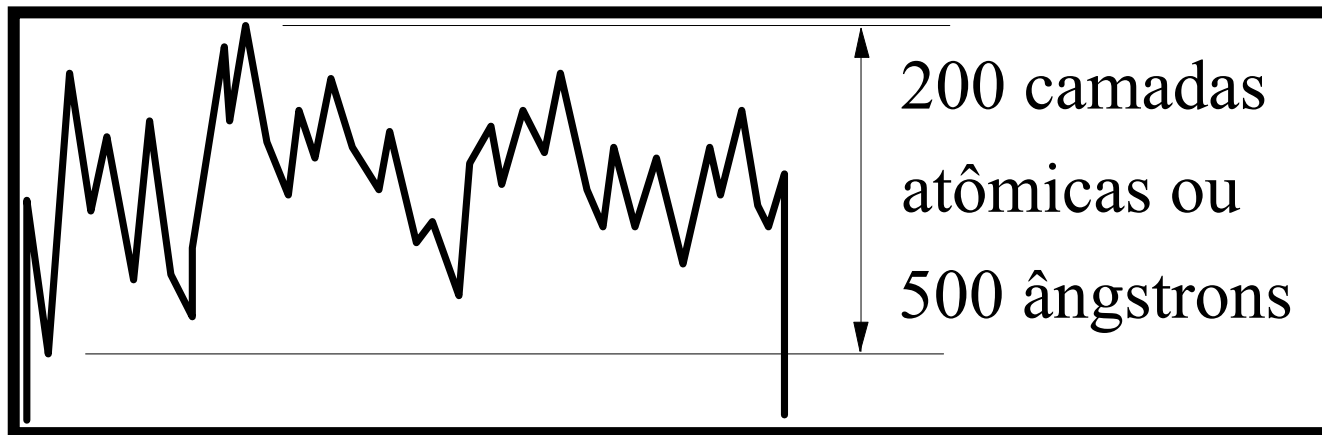
□ **Obstáculos:** dois tipos distintos.

**1° Tipo: “As superfícies metálicas, mesmo as mais polidas, apresentam grande rugosidade em escala atômica.”**

Processo de Acabamento	Rugosidade Média ( $\mu\text{m}$ )
Super acabamento	0,05 - 0,2
Afiação	0,05 - 0,4
Polimento	0,1 - 0,8
Esmerilhamento	0,1 - 1,6
Torneamento com diamante	0,1 - 0,4
Torneamento	0,4 - 6,3
Perfuração	0,4 - 6,3
Mandrilagem	0,8 - 3,2
Fresagem	0,8 - 6,3
Perfilamento	1,6 - 12,5

- ✓ Uma superfície com acabamento cuidadoso apresenta irregularidades  $>500\text{\AA}$ , cerca de **200** camadas atômicas.
- ✓ Impede que as superfícies se aproximem efetivamente, ocorrendo apenas poucos pontos de contato.
- ✓ O número de ligações atômicas seria insuficiente para garantir resistência à junta.

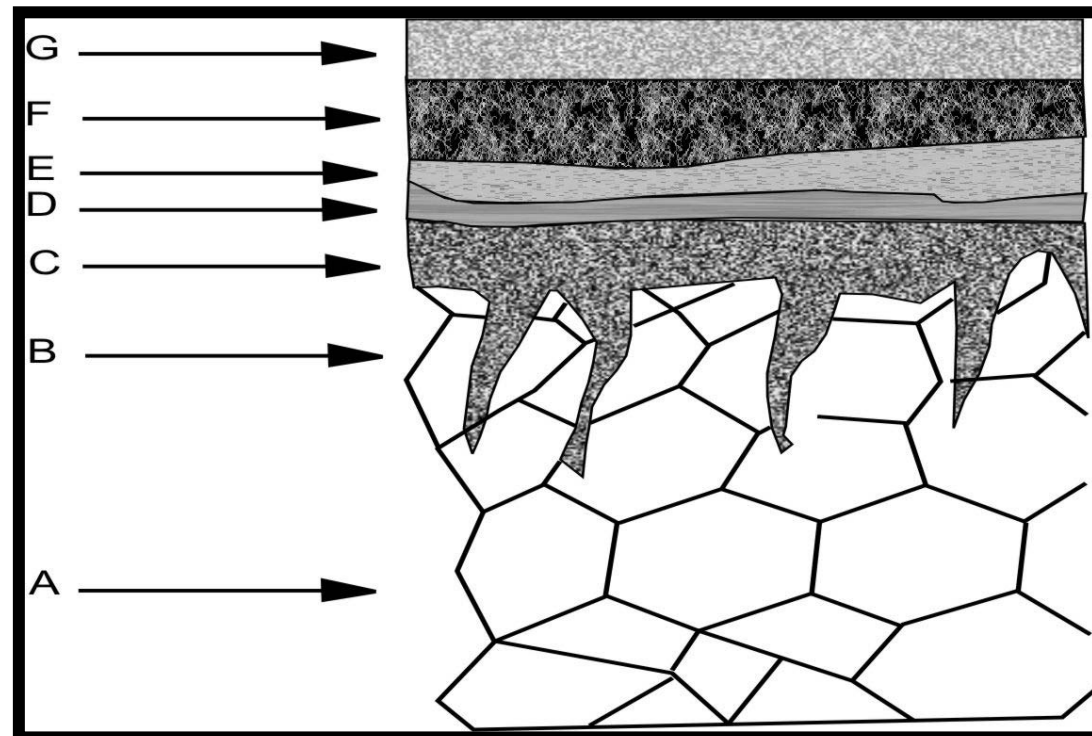
Representação esquemática da superfície metálica **limpa**.





**2º Tipo: “As superfícies metálicas estão normalmente recobertas por camadas de óxidos, umidade, gordura, poeira e outros materiais. Impede um contato real entre as superfícies, evitando a formação de ligações”.**

- A – metal
- B – Metal + óxido.
- C – Óxido.
- D – Gás absorvido.
- E – Umidade
- F – Gordura
- G – Partícula de Poeira Ioniizada.



**“Estas camadas formam-se rapidamente na superfície dos metais.”**

Metal	Espessura da Camada (anstron)	Tempo de Formação (s)
Alumínio	1200	15
Cobre	3000	30
Ferro	2000	40
Molibdênio	2000 a 3000	40
Germânio	2000 a 3000	80

Pressão (mm Hg)	Tempo (s)	Pressão (mm Hg)	Tempo (s)
760	$2,4 \times 10^{-9}$	$10^{-6}$	1,8
100	$1,8 \times 10^{-8}$	$10^{-7}$	18
10	$1,8 \times 10^{-7}$	$10^{-8}$	180
$10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$10^{-9}$	$1,8 \times 10^3$
$10^{-5}$	0,18		

## Como Superar estes Obstáculos?

✓ Tecnicamente, **dois modos principais** utilizados para superar estes obstáculos.

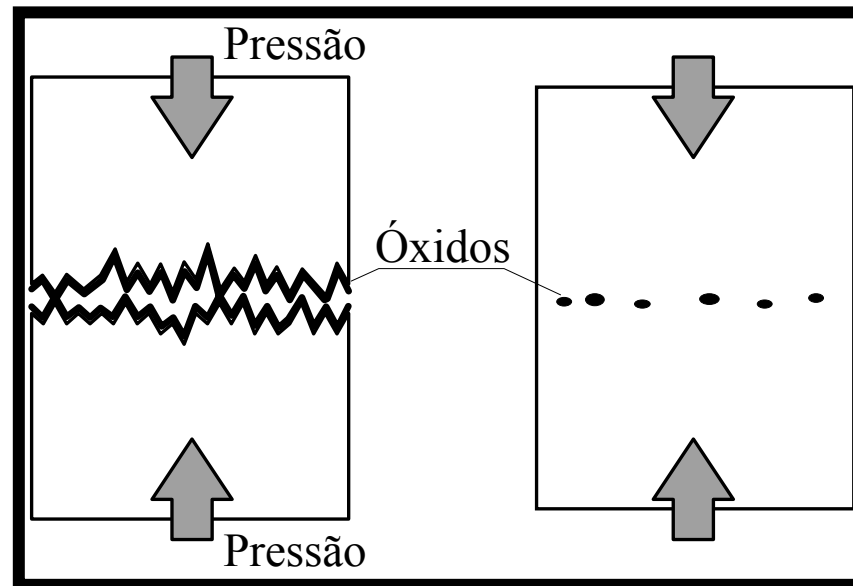
Originam os **dois** grandes grupos de processos de soldagem.

✓ Processos de Soldagem por Pressão.

✓ Processos de Soldagem por Fusão.

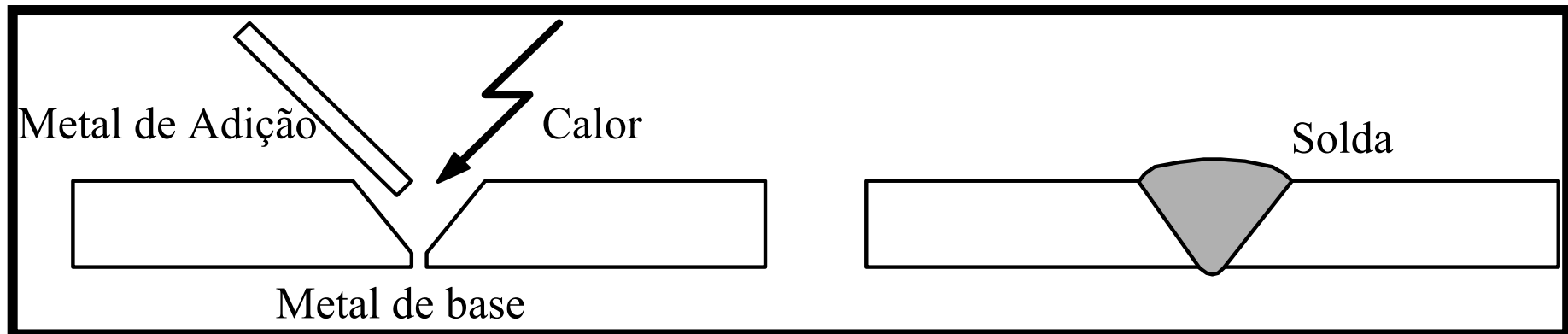
## Processos de soldagem por pressão:

- ✓ Aplicação de pressão elevada.
- ✓ Produz deformação plástica nas superfícies metálicas.
- ✓ Permite a aproximação atômica a distâncias da ordem de  $r_0$ .
- ✓ Em geral, as peças são aquecidas localmente para facilitar a sua deformação.



## Processos de soldagem por fusão:

- ✓ Aplicação localizada de calor na região de união.
- ✓ Produz fusão do metal base e do metal de adição (quando este for utilizado).
- ✓ Produz a ligação pela solidificação do metal fundido.
- ✓ Destruição das interfaces.



## 1.4 Processos de Soldagem

### ☐ Principais Processos de Soldagem por Pressão

- ✓ Soldagem por ultrassom.
- ✓ Soldagem por fricção.
- ✓ Soldagem por forjamento.
- ✓ Soldagem por difusão.
- ✓ Soldagem por explosão.

**Soldagem por resistência: têm enorme importância tecnológica.**

- ✓ Soldagem por centelhamento.
- ✓ Soldagem por alta-frequência.
- ✓ Soldagem por percussão.
- ✓ Soldagem por costura.
- ✓ Soldagem por pontos.

## ✓ Soldagem por Resistência por Pontos



## □ **Processos de Soldagem por Fusão:**

**Inclui a maioria dos processos mais versáteis usados atualmente.**

### **Processos de Soldagem e Corte a Arco Elétrico**

Soldagem com eletrodo revestido.

Soldagem mig-mag.

Soldagem com arame tubular.

Soldagem a arco submerso.

Soldagem TIG.

Soldagem a Plasma

### **Processos de Soldagem e Corte a Gás**

Soldagem e corte oxi-acetileno

### **Brasagem Forte e fraca:**

Ao ar, por difusão, em forno, por indução, por resistência, por tocha, etc.

### **Outros Processos de Soldagem**

Soldagem por feixe eletrônico.

Soldagem por eletroescória.

Soldagem por indução.

Soldagem a laser.



## 1.5 Pequeno Histórico da Soldagem

- ✓ A soldagem, na sua forma atual, é um processo recente, com cerca de 100 anos.
- ✓ Processos como a **brasagem** e a **soldagem por forjamento**, têm sido utilizados desde épocas remotas.
- ✓ Museu do Louvre: pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e fabricado na Pérsia por volta 4000 AC.

# Fabricação do Ferro

- ✓ Iniciou em torno de 1500 AC, substituiu o cobre e o bronze na confecção de artefatos.
- ✓ Ferro era produzido em fornos por redução direta e conformado por martelamento na forma de blocos com peso de poucos kg.
- ✓ Quando peças maiores eram necessárias: blocos soldados por forjamento :material aquecido ao rubro, com areia entre as peças e martelava-se até formar a solda.
- ✓ Exemplo : pilar de cerca de sete metros de altura e mais de cinco toneladas existente ainda hoje na cidade de Delhi, na Índia.

## A Soldagem na Antiguidade e na Idade Média

- ✓ Fabricação de armas e instrumentos cortantes.
- ✓ **Ferro:** obtido por redução direta tem baixo teor de C ( $<0.1\%$ ), não sendo endurecível por têmpera.
- ✓ **Aço:** com  $\uparrow$  %C, era material escasso e de alto custo. Fabricado a partir da cementação de tiras finas de ferro.
- ✓ **Ferramentas:** fabricadas em ferro com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera.
- ✓ **Espadas** de elevada resistência mecânica e tenacidade: fabricadas soldando tiras alternadas de aço e ferro e deformadas por compressão e torção. Resultado: lâmina com uma fina alternância de regiões de alto e baixo teor de C.

# A Soldagem na Antiguidade e na Idade Média

✓ Durante este período, a soldagem foi um processo importante na tecnologia metalúrgica devido a dois fatores:

- ❑ A escassez e o alto custo do aço.

- ❑ O tamanho reduzido dos blocos de ferro obtidos por redução direta.

✓ Esta importância começou a diminuir com a tecnologia de fabricação de grandes quantidades de ferro fundido no estado líquido :

- ❑ Pelo uso da energia gerada em rodas d'água, nos séculos XII e XIII.

- ❑ Com o desenvolvimento do alto forno nos séculos XIV e XV.

# A Soldagem até o Século XIX

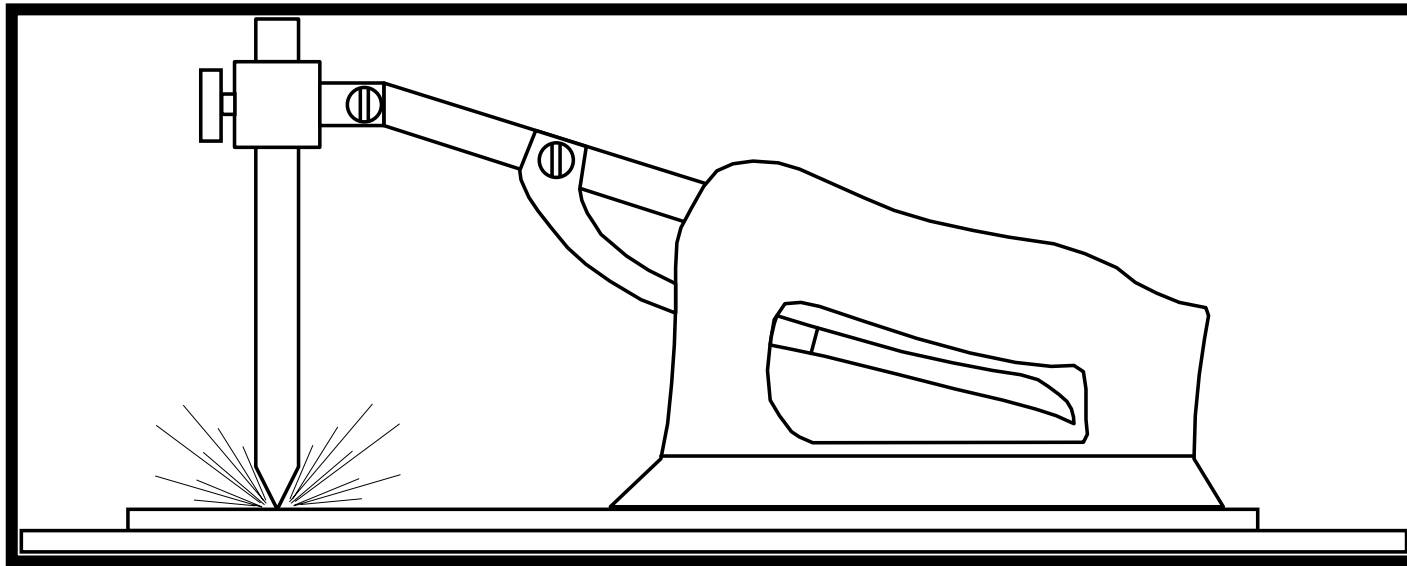
- ✓ A fundição tornou-se um processo importante de fabricação.
- ✓ A soldagem por forjamento foi substituída por outros processos de união.
- ✓ A rebitagem e parafusagem tornaram-se mais adequados, naquela época, para união de peças.
- ✓ Soldagem permaneceu como processo secundário de fabricação até o século XIX.

## A Soldagem no Século XIX

- ✓ A tecnologia de soldagem começou a mudar radicalmente..
- ✓ (1801-1806) experiências com o arco elétrico.
- ✓ A descoberta do acetileno por Edmund Davy.
- ✓ Desenvolvimento de fontes produtoras de energia elétrica possibilitaram o aparecimento dos processos de soldagem por fusão.

# Primeira Patente de um Processo de Soldagem

- ✓ Inglaterra, 1885 por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky.
- ✓ Baseada em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e a peça a ser soldada.



✓ 1890: N. G. Slavianoff, (Rússia) e Charles Coffin, (EUA), desenvolveram independentemente a soldagem a arco elétrico com eletrodo metálico nu.

✓ Até o final do século XIX, foram desenvolvidos os processos de soldagem:

- Soldagem por resistência elétrica.
- Soldagem por aluminotermia.
- Soldagem a gás.



# A Soldagem no Século XX

Em 1907, Oscar Kjellberg (Suécia) patenteia o processo de soldagem a arco com eletrodo revestido.

- ✓ Desenvolvimentos posteriores tornaram este processo o mais utilizado no mundo.
- ✓ Após a eclosão da 1ª grande guerra, devido às necessidades da época, a soldagem passou a ser utilizada mais intensamente como processo de fabricação.
- ✓ Primeiro navio totalmente soldado remonta desta época.

# A Soldagem no Século XX

- ✓ A soldagem se desenvolveu rapidamente.
- ✓ Os processos usados até então foram aperfeiçoados.
- ✓ Novos processos desenvolvidos, novos equipamentos e tecnologias incorporados à soldagem.
- ✓ Desenvolvimentos em outras áreas: eletrotécnica, eletrônica e a metalurgia contribuíram para o avanço da soldagem.
- ✓ Últimas décadas: técnicas de instrumentação e controle absorvidas pela soldagem, junto com desenvolvimentos na área de robótica e informática.

# A Soldagem no Século XX

- ✓ **Novos equipamentos:** menores e mais eficientes, com menor custo de fabricação e manutenção.
- ✓ **Consumíveis de soldagem:** adaptados para aplicação aos novos materiais e equipamentos, de forma mais rápida e eficiente, reduzindo tempos e custos das operações de soldagem.

# A Soldagem Hoje

- ✓ Mais de 50 diferentes processos de soldagem têm alguma utilização industrial.
  
- ✓ A soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais.
- ✓ Evidenciada pela presença de processos de soldagem e afins nas mais diferentes atividades industriais:
  - ❑ Segmentos de baixa tecnologia (indústria serralheira)
  - ❑ Segmentos de elevada tecnologia e complexidade (indústrias nuclear e aeroespacial).

## 1.6 Comparação da Soldagem com Outros Processos de Fabricação:

- ✓ A soldagem é o principal processo para a união permanente de peças metálicas:
- ✓ Montagem com rapidez, segurança e economia de material.
- ✓ Juntas estanques, sem vazamento mesmo a elevada pressão.

**Cuidado:** possibilidade de propagação de fratura frágil ao longo desta.

## Comparando a soldagem com parafusagem e rebitagem:

- ✓ Exige que as chapas sejam furadas para a passagem de parafusos e rebites (tempo).
- ✓ Os furos causam perda de seção resistiva, que deve ser compensada com aumento de espessura das chapas.
- ✓ O uso de chapas de reforço e parafusos ou rebites aumentam o peso final da estrutura.
- ✓ Problemas de estanqueidade.

## **Comparando a soldagem com a fundição:**

- ✓ A soldagem permite grandes variações de espessura na mesma peça.
- ✓ Não há espessura mínima para adequado preenchimento do molde com o metal fundido.
- ✓ Possibilidade de usar diferentes materiais numa mesma peça, conforme solicitações de cada parte.
- ✓ Maior flexibilidade em alterações de projeto.
- ✓ Menor investimento inicial.

# **Conhecimentos Relacionados à Engenharia de Soldagem**

O Engenheiro de Soldagem é uma profissão reconhecida e valorizada.



# Conhecimentos Relacionados a Engenharia de Soldagem

## ✓ Aspectos Metalúrgicos e de Materiais:

- ❑ **Materiais** a serem soldados: aços C, C-Mn, baixa liga, aços inoxidáveis, alumínio, cobre, titânio, ferro fundido, revestimento duro.
- ❑ **Propriedades** físicas (resistência mecânica, tenacidade, ductilidade, microestrutura), químicas (efeito dos elementos de liga)
- ❑ **Degradação de materiais**: fadiga, fluência, corrosão, desgaste, etc.

# Conhecimentos Relacionados a Engenharia de Soldagem

✓ Além de aspectos metalúrgicos, Envolve conhecimentos em diferentes áreas:

- ✓ Física.
- ✓ Química.
- ✓ Eletricidade e Eletrônica.
- ✓ Mecânica.
- ✓ Processos de soldagem.
- ✓ Automação.
- ✓ Higiene e Segurança.

## Profissionais que Atuam na Engenharia de Soldagem

- ✓ Eng. Metalúrgico e de Materiais.
- ✓ Eng. Mecânico.
- ✓ Tecnólogo de Soldagem.

## O que Faz o Engenheiro de Soldagem?

✓ Por ser uma atividade multidisciplinar, há distintas formas de atuação do Engenheiro de Soldagem:

# O que Faz o Engenheiro de Soldagem?

## 1. Trabalhar em Indústrias da Área Metal Mecânica (Fabricantes de Equipamentos, indústria automobilística e auto-peças, etc):

- Especificar materiais: metal base, consumíveis, processos.
- Especificar e conduzir procedimentos de soldagem.
- Introduzir técnicas de soldagem com maior produtividade.
- Controle de qualidade.
- Métodos e Processos.
- Participar dos problemas de fabricação.

✓ Muitas vezes a função exige trabalhar em várias dessas atividades.

# O que Faz o Engenheiro de Soldagem?

## 2. Trabalhar em Fabricantes de Consumíveis de Soldagem:

Há instalado no Brasil cerca de 40 empresas que fabricam e vendem consumíveis de soldagem.

- Desenvolvimento: Formular consumíveis.
- Produção e Controle de Qualidade.
- Assistência Técnica a clientes.

# O que Faz o Engenheiro de Soldagem?

## 3. Trabalhar em Empresas Estrangeiras de Consumíveis e Produtos de Soldagem:

Há instalado no Brasil cerca de 50 empresas que vendem produtos, equipamentos e consumíveis de soldagem.

- Gerente de Produto: Trabalha com vendas técnicas e aplicação dos produtos.

# O que Faz o Engenheiro de Soldagem?

## 4. Trabalhar em Ensino e Pesquisa:

✓ Normalmente requisita Mestrado ou Doutorado.

Centro de Pesquisas de empresas do setor siderúrgico, energia, algumas empresas usuárias e fornecedores de consumíveis de soldagem.

Escolas de Engenharia Mecânica e Metalurgia.