



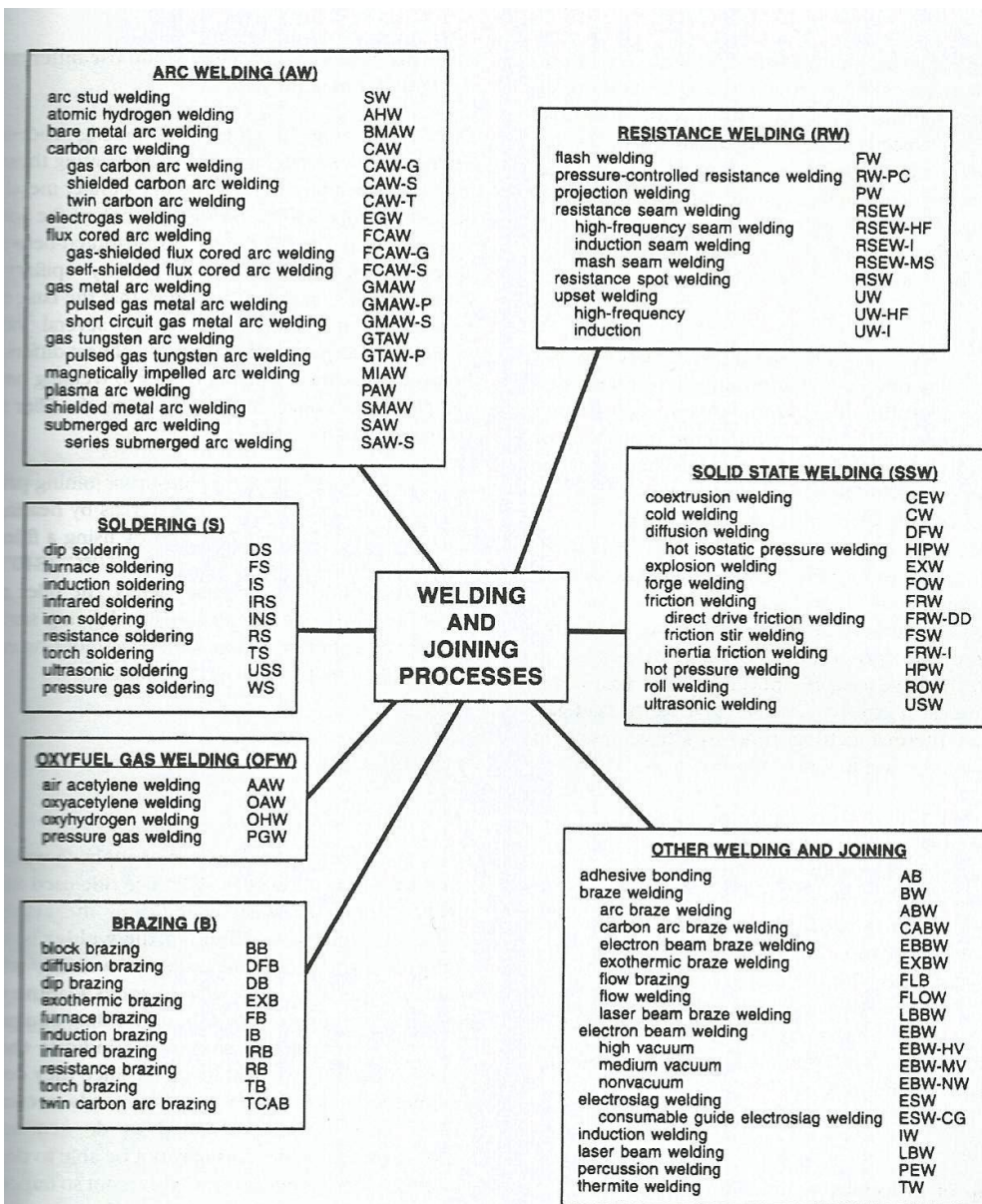
**PROCESSOS DE FABRICAÇÃO III
SOLDAGEM**



**SOLDAGEM E CORTE A GÁS
BRASAGEM**



Professor: Moisés Luiz Lagares Júnior



SOLDAGEM A GÁS OXI-COMBUSTÍVEL (OXY-FUEL GAS WELDING – OFW)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

- União pela fusão com uma chama de um gás combustível e oxigênio
- Excelente controle sobre o aporte de calor e temperatura
- Equipamento simples e de baixo custo
- Também usado em operações de dobramento, desempenho, pré e pós-aquecimento, brasagem e corte a gás
- Gás combustível: alta temperatura de chama, alto potencial energético e mínima reação química com os metais de base e adição
- Adequado a chapas finas, tubos de pequeno diâmetro e soldagem de reparo
- Soldagem de aços (especialmente os de baixo carbono) e a maioria dos metais não ferrosos

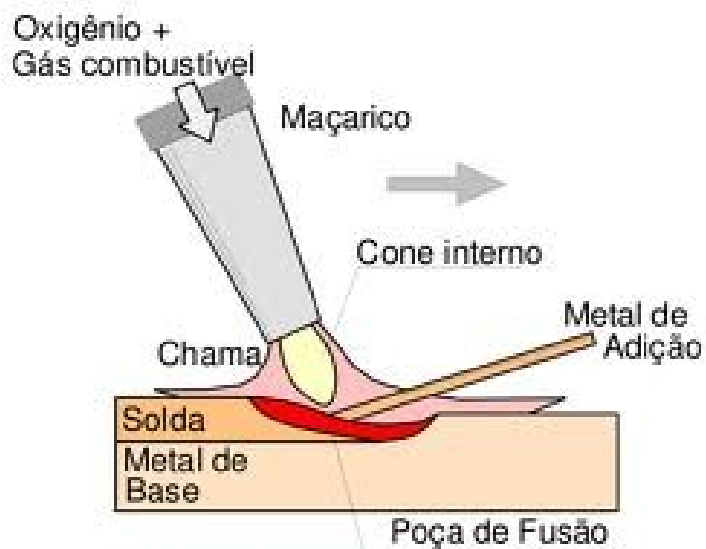
SOLDAGEM A GÁS OXI-COMBUSTÍVEL (OXY-FUEL GAS WELDING – OFW)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



SOLDAGEM A GÁS OXI-COMBUSTÍVEL (OXY-FUEL GAS WELDING – OFW)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



- **Cone Interno (dardo):** reação primária



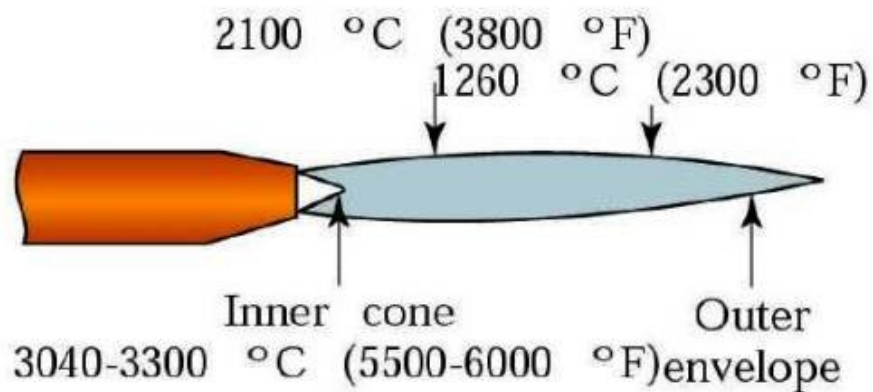
- **Penacho:** reação secundária



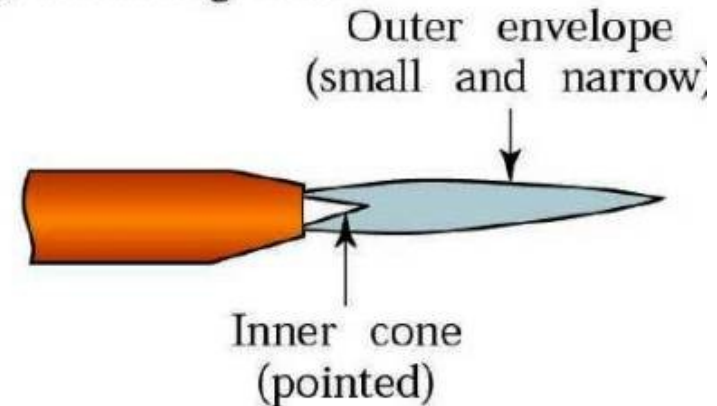
SOLDAGEM A GÁS OXI-COMBUSTÍVEL (OXY-FUEL GAS WELDING – OFW)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

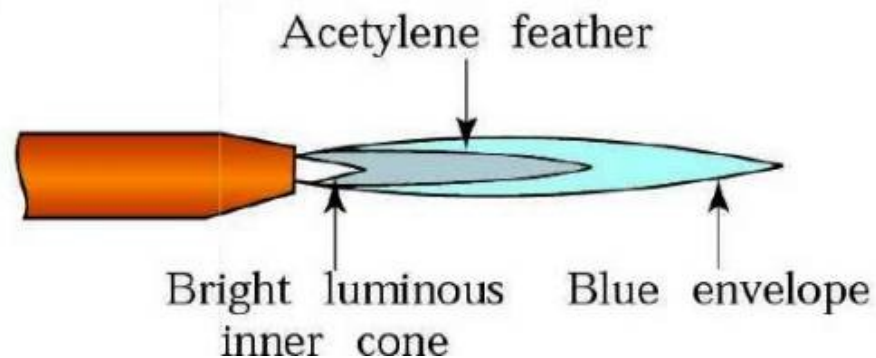
(a) Neutral flame



(b) Oxidizing flame



(c) Carburizing (reducing) flame



SOLDAGEM A GÁS OXI-COMBUSTÍVEL (OXY-FUEL GAS WELDING – OFW)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Tabela IV – Algumas ligas soldáveis a oxi-acetileno

Metal de base	Metal de adição	Tipo de chama	Uso de fluxo
Alumínio	Alumínio	Ligeiramente redutora	Sim
Bronze	Bronze	Ligeiramente oxidante	Sim
Cobre	Cobre	Neutra	Não
Ferro fundido	Ferro fundido	Neutra	Sim
Níquel	Níquel	Ligeiramente redutora	Não
Aço de baixo carbono	Aço	Neutra	Não
Aço de baixo carbono	Bronze	Ligeiramente oxidante	Sim
Aço de alto carbono	Aço	Redutora	Não
Aço inoxidável	Aço inoxidável	Neutra	Sim

OXI-CORTE (OXY-FUEL GAS CUTTING – OFC)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

- Soldagem → **União** | Corte → **Separação**
- O corte do metal é obtido pela reação do oxigênio puro com o metal a alta temperatura
- O metal é aquecido por uma chama de pré-aquecimento até a temperatura de reação (temperatura de ignição), sendo a seguir, exposto a um jato de oxigênio
- A oxidação do metal produz calor que funde o óxido formado. Este é expulso pelo jato de oxigênio

Processo versátil, podendo cortar peças finas até peças com mais de um metro de espessura

- Fundamentalmente para corte dos aços via técnica convencional (fluxos permitem corte de algumas ligas)

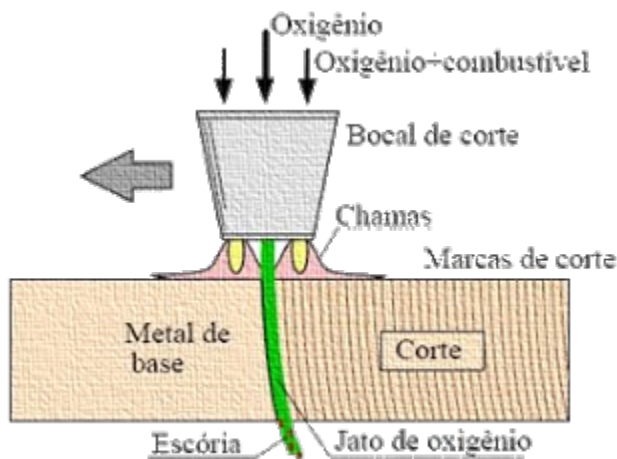
OXI-CORTE (OXY-FUEL GAS CUTTING – OFC)

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



OXI-CORTE (OXY-FUEL GAS CUTTING – OFC)

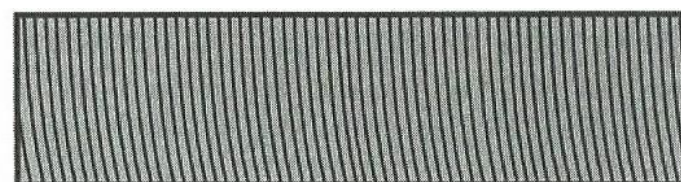
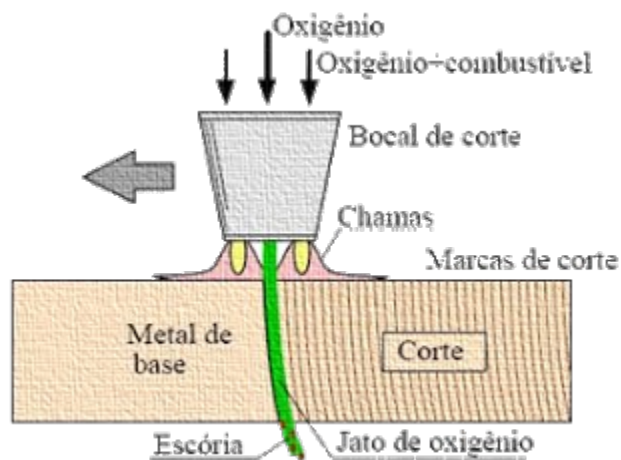
Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



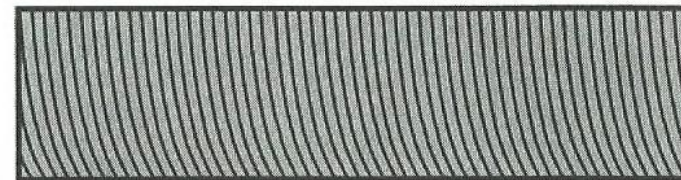
- $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO} + 534 \text{ kJ}$
- $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 1120 \text{ kJ}$
- $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 1650 \text{ kJ}$ (somente para peças de maior espessura)
- O calor gerado durante o corte é suficiente para manter o processo, contudo, a chama de pré-aquecimento é mantida durante toda a operação

OXI-CORTE (OXY-FUEL GAS CUTTING – OFC)

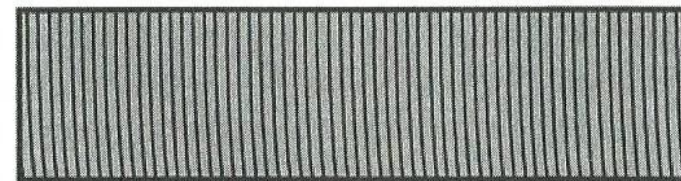
Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



Normal



Rápido



Lento

Figura 4
Efeito da velocidade de corte no acabamento das faces cortadas por oxi-corte (esquemático)

Tabela II – Efeitos dos elementos de liga sobre a operação de corte

Elemento	Efeito
Carbono	Aços com até 0,25% de carbono podem ser cortados sem problemas. Acima disso passa a ser necessário o uso de pré-aquecimento para prevenir têmpera e fissuração do material. Grafita e cementita são prejudiciais, mas ferros fundidos com até 4% de carbono podem ser cortados com o uso de técnicas especiais.
Manganês	Aços com aproximadamente 14% de manganês e 1,5% de carbono são difíceis de cortar e o uso de pré-aquecimento produz melhores resultados.
Cromo	Aços com até 5% de cromo são cortados sem muita dificuldade quando a superfície está limpa. Com teores mais altos, da ordem de 10%, exigem técnicas especiais. A superfície de corte será áspera se usado o corte oxi-acetilênico convencional.
Níquel	Aços com até 7% de níquel podem ser cortados sem maiores problemas. Oxi-corte de excelente qualidade de aços inoxidáveis podem ser feitos com a utilização de pós e fluxos.
Tungstênio	As ligas usuais com até 14% de tungstênio podem ser cortadas facilmente, mas o corte é mais difícil quando o teor é mais alto.
Cobre	Em teores até 2%, não tem nenhum efeito.
Alumínio	Desde que presente com teores até 10%, seu efeito não é apreciável.
Fósforo	Nas quantidades normalmente toleradas nos aços, este elemento não tem qualquer efeito.
Enxofre	Pequenas quantidades comuns nos aços não têm efeito. Para teores mais elevados a velocidade de corte é reduzida e o dióxido de enxofre passa a ser notado.
Vanádio	Nas quantidades usuais em aços, este elemento mais facilita do que prejudica o corte.

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

- O processo de corte convencional é adequado para o corte de aços carbono
- Para aços ligados, o processo de corte sofre interferências como mostrado na Tabela
- Para o corte de aços inoxidáveis, ferros fundidos e não ferrosos o processo convencional não é adequado exigindo uso de técnicas, pós e fluxos

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

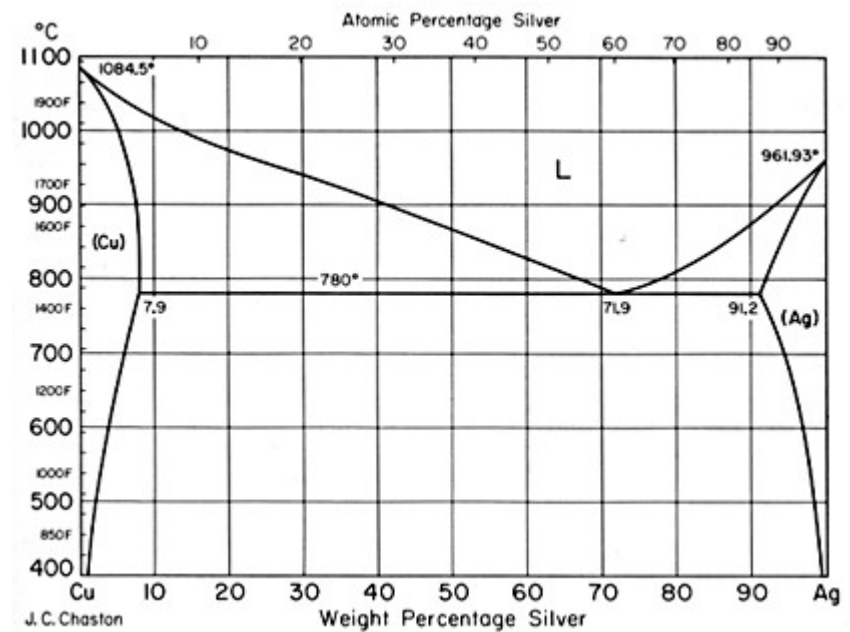
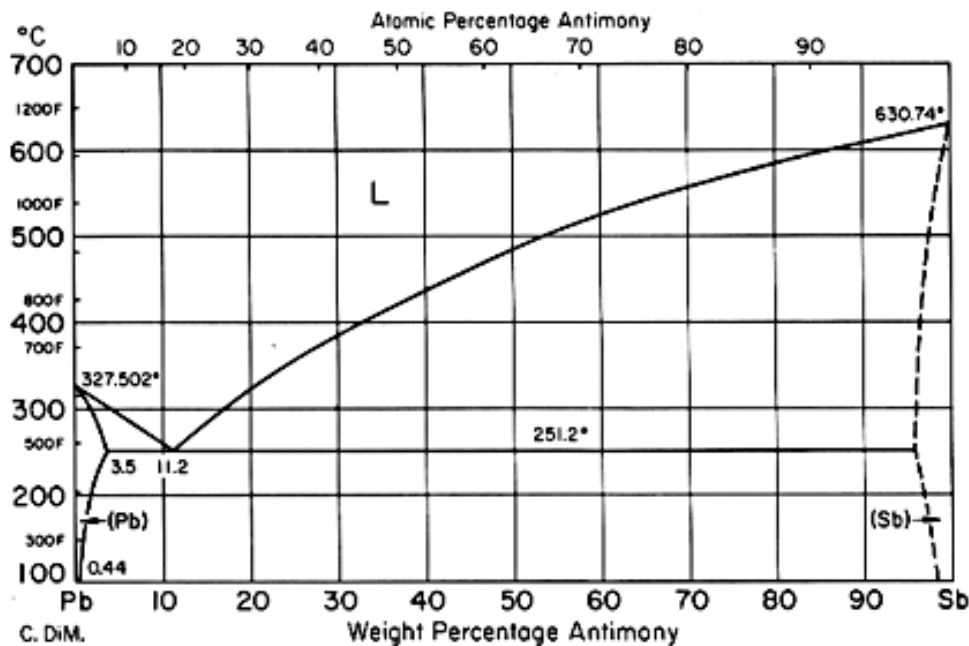
- **União** através de metal de adição cuja temperatura de fusão está abaixo da temperatura “SOLIDUS” do metal de base
- Brasagem forte (**brazing**): PF acima de 450° C
- Brasagem fraca (**soldering**): PF abaixo de 450° C

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

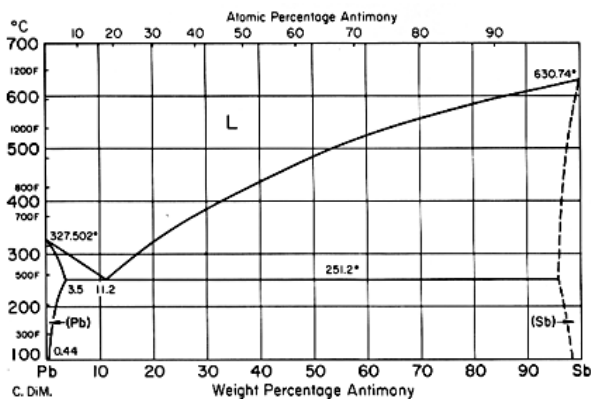
Qual diagrama de equilíbrio oferece ligas metálicas para (indique a liga):

- Brasagem forte (**brazing**)
- Brasagem fraca (**soldering**)



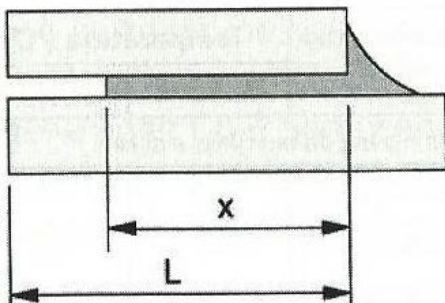
BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



- Intervalo de fusão: em geral, ligas de curto intervalo de fusão para juntas curtas e ligas de amplo intervalo para juntas longas
- Em juntas horizontais, a distância percorrida pode ser estimada por:

$$x = (T.D.t/3.\mu)^{1/2}$$



onde,

- x = distância brasada em um tempo t
- D = espaçamento entre as peças
- T = tensão superficial do líquido
- μ = viscosidade do metal líquido

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Metal de Adição



BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

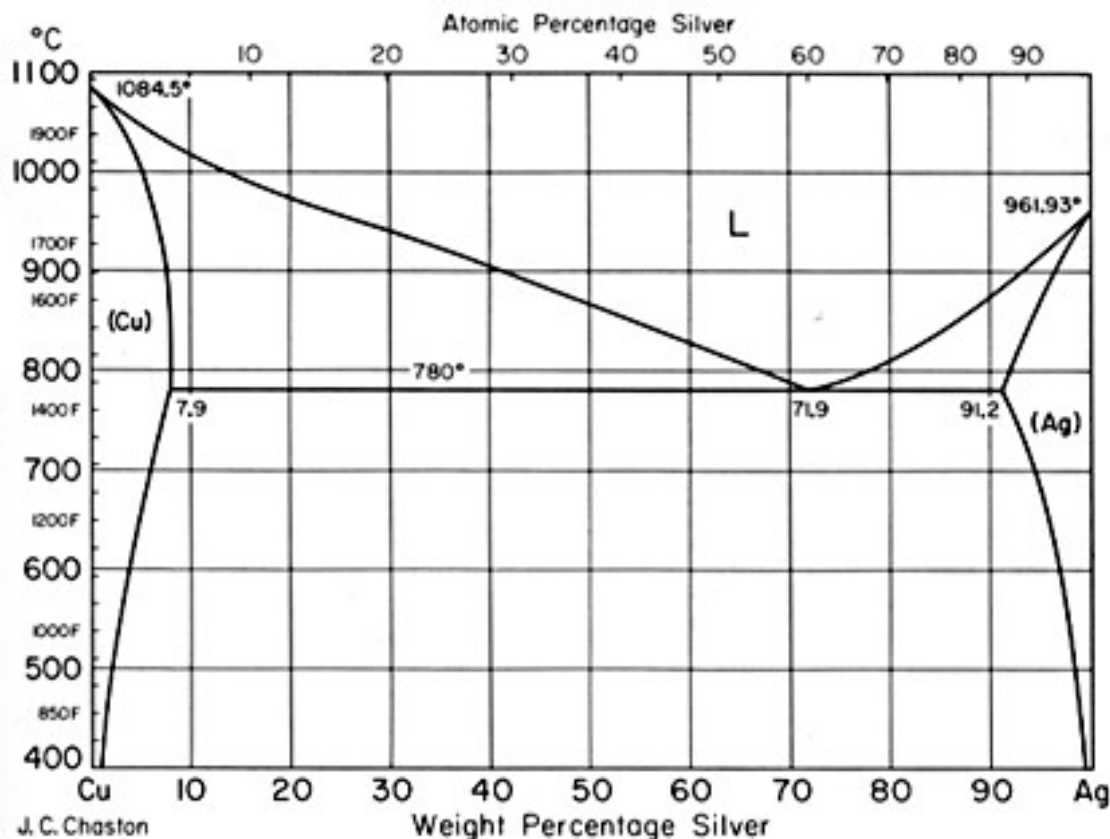
Metal de Adição

Ligas à base de cobre e zinco

RBCuZn-A	888	899	910-954
RBCuZn-C	866	888	910-954
RBCuZn-D	921	935	938-882

Tabela I – Metais de adição para brasagem

Classificação AWS	Temperatura (°C)		Temperatura de Brasagem (°C)
	Solidus	Liquidus	
Ligas à base de prata			
BAG-1	607	618	618-760
BAG-1a	627	635	635-760
BAG-2	607	702	702-843
BAG-2a	607	710	710-843
BAG-3	632	688	688-816
BAG-4	671	779	779-899
BAG-5	663	743	743-843
BAG-6	688	774	774-871
BAG-7	618	652	652-760
BAG-8	779	779	779-899
BAG-8a	766	766	766-871
BAG-13	718	857	857-968
BAG-13a	771	893	871-982
BAG-18	602	718	718-843
BAG-19	760	891	877-982
BAG-20	677	766	766-871
BAG-21	691	802	802-899



BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

Tabela II – Metais de adição recomendados para brasagem de diferentes materiais

Metal base	Alumínio e ligas	Magnésio e ligas	Cobre e ligas	Aço carbono e baixa liga	Ferro fundido	Aço inoxidável	Níquel e ligas	Aço ferramenta
Aço ferramenta	(a)	(a)	B _{Ag} , B _{Au} , R _B CuZn, B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Au} , R _B CuZn, B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , R _{Cu} , B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni} , R _B CuZn
Níquel e ligas	(a)	(a)	B _{Ag} , B _{Au} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Cu} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni}	
Aço inoxidável	BA _{Si}	(a)	B _{Ag} , B _{Au}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni}	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni}		
Ferro fundido	(a)	(a)	B _{Ag} , B _{Au} , R _B CuZn	B _{Ag} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Ni} , R _B CuZn			
Aço carbono e baixa liga	BA _{Si}	(a)	B _{Ag} , B _{Au} , R _B CuZn	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} , B _{Ni} , R _B CuZn				
Cobre e ligas	(a)	(a)	B _{Ag} , B _{Au} , B _{Cu} P, R _B CuZn					
Magnésio e ligas	(a)	BMg						
Alumínio e ligas	BA _{Si}							

(a) Não recomendado, mas técnicas especiais podem ser utilizadas para determinadas combinações de metal de base e metal de adição.

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

As substâncias mais usadas nos fluxos são:

- Boratos - Na, K e Li. Para uso acima de 760°C. Têm boa capacidade de dissolução dos óxidos e oferecem boa proteção contra oxidação;
- Fluoboratos - Na e K. Possuem melhor capacidade de dissolução dos óxidos e maior fluidez do que os boratos. São usados na ligação de materiais para uso a elevadas temperaturas;
- Fluoretos - Na, K e Li. São muito ativos, aumentando o efeito da capilaridade. Utilizados especialmente na ligação de alumínio e suas ligas. Produzem fumos tóxicos. Têm fraca proteção contra a oxidação;
- Cloretos - Têm propriedades e aplicações idênticas às dos fluoretos, embora sejam menos eficazes; e
- Ácido Bórico Calcinado - Constitui a base de muitos fluxos. É um bom agente de limpeza das superfícies; reduz a viscosidade do fluxo e facilita a remoção dos resíduos de fluxo.

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

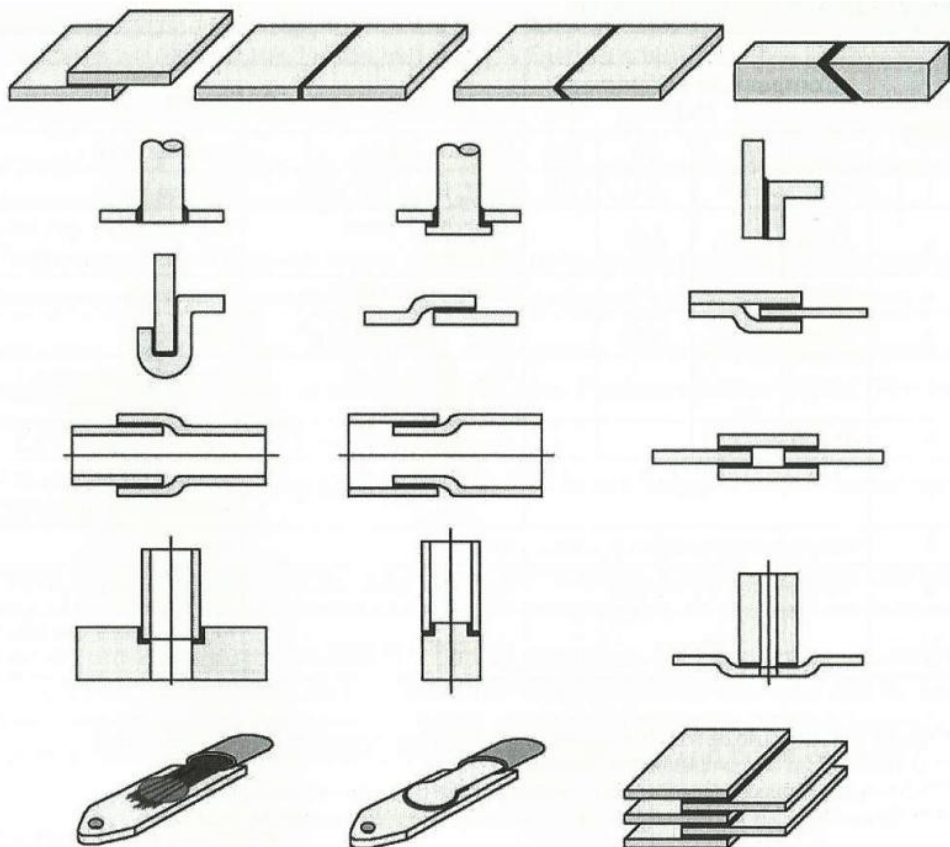


Figura 4
Juntas usadas em brasagem

- Além das técnicas de limpeza, brasagem propriamente dita e limpeza final, o projeto da junta é fundamental
- A seleção do tipo de junta depende do processo de brasagem, quantidade de peças, método de aplicação do metal de adição, fluxo etc
- Preferência para juntas sobrepostas (melhora a resistência)

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

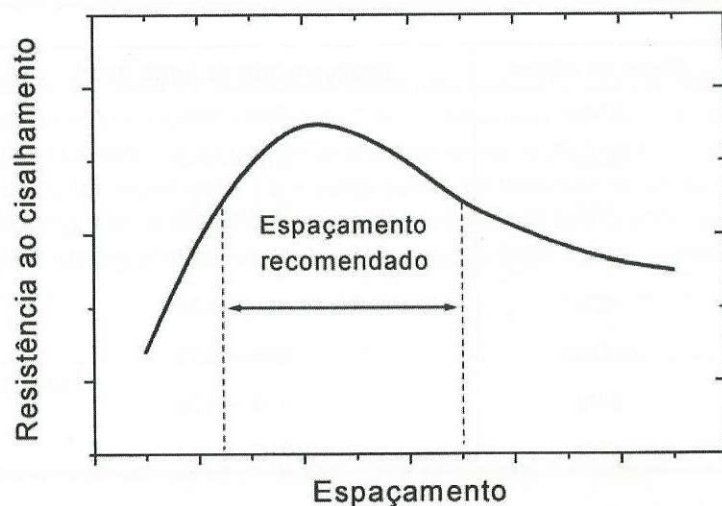


Figura 5
Variação da resistência ao cisalhamento com a distância e separação entre as peças (esquemática)

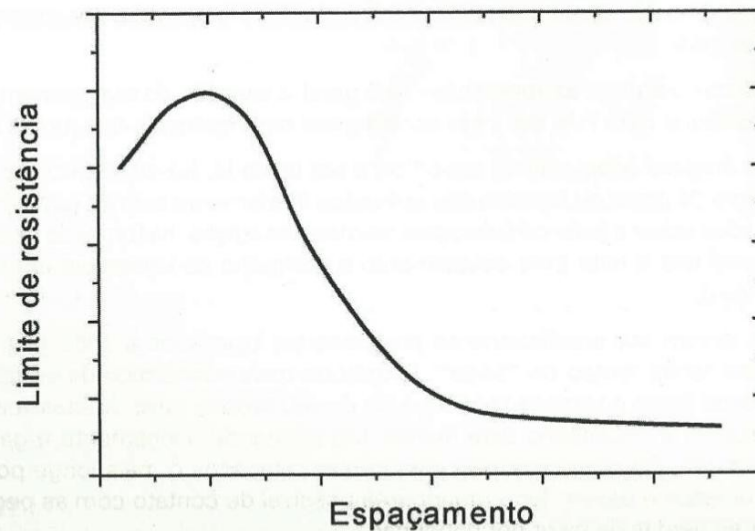


Figura 6
Variação do limite de resistência de uma junta brasada com a distância de separação entre as peças (esquemática)

- As juntas brasadas são preenchidas por capilaridade. Necessário controle rígido da distância de separação entre as peças
- A ligação entre metal de base e metal de adição se dá por difusão

BRASAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

- Processos classificados de acordo com os métodos de aquecimento usados: **chama**, forno, indução, resistência, imersão e infravermelho