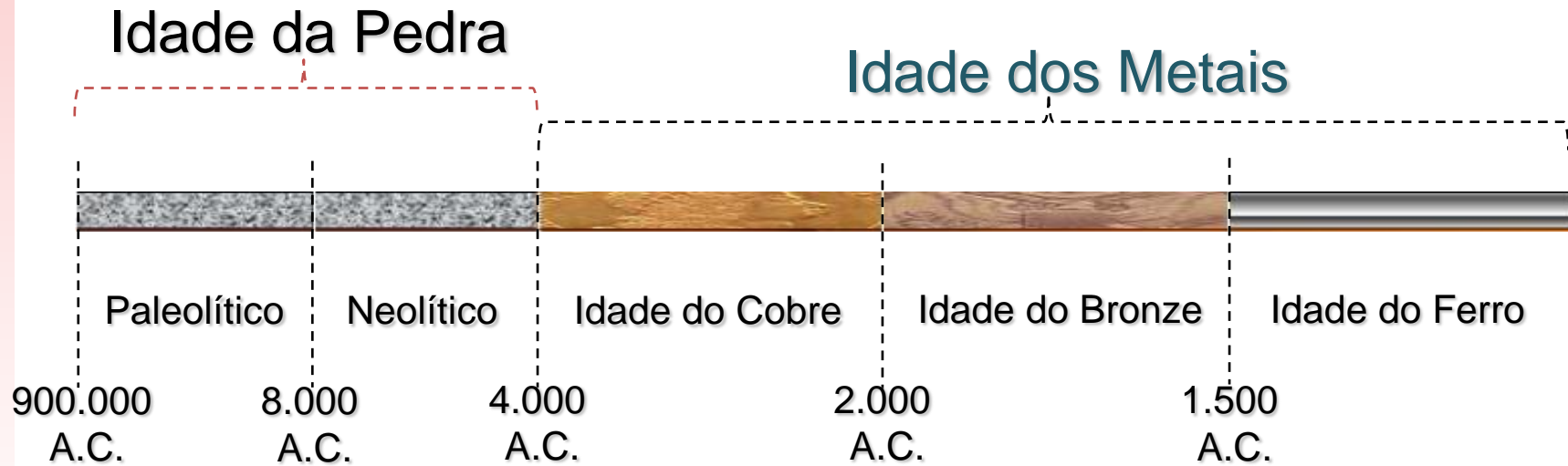


# COBRE E SUAS LIGAS

TM242 – Materiais de Engenharia

UFPR – Prof. Scheid

# COBRE



# COBRE

## Histórico da Metalurgia – Idade do Cobre

A fusão do Cobre no Altiplano Iraniano marca o nascimento da metalurgia.

O metal era conhecido como “aes cyprium” (minério do chipre), uma vez que a ilha do chipre era a maior fornecedora de Cobre da antiguidade.



# COBRE

## Histórico da Metalurgia – Idade do Bronze

O bronze é uma mistura de Cobre e Estanho, que apresenta baixo ponto de fusão.

A liga é mais dura que o Cobre puro, sendo usada na fabricação de lanças, espadas, capacetes, além de ferramentas de adorno.



Molde talhado em pedra



# COBRE

## Introdução:

**Cobre** compõe um dos mais importantes grupos de ligas metálicas. São largamente usados devido à excelente condutividade elétrica e térmica, boa resistência à corrosão (atmosférica, em água do mar, produtos químicos e alimentos) e fácil fabricação, moderada resistência à tração e à fadiga. Apresentam ainda boa resistência ao desgaste metal-metal (resistência ao desgaste adesivo) e boa aparência estética.

- Apresenta preço entre 3 e 4 vezes maior que o Al e entre 6 e 7 vezes maior que aços-carbono.
- Forma ligas com os elementos Sn, Zn, Al, Be, Ni e Si.
- Existem reservas de minérios de cobre no Chile, EUA, Canadá, antiga URSS, Peru, Zâmbia e Zaire

# COBRE

## Propriedades

Número Atômico: 29

Massa Atômica: 63,54

Densidade: 8,93 g/cm<sup>3</sup>

Estrutura cristalina: Cúbica de Faces Centradas

Módulo de Elasticidade: 115 GPa

Temperatura de fusão: 1083<sup>0</sup>C

Condutividade Térmica: 0,941 cal/cm<sup>2</sup>/cm/ °C/s

Condutividade Elétrica: 1,673 x10<sup>-6</sup> ohms.cm ou 100% IACS - International Annealed Copper Standard

# COBRE

## Classificação e Designação

O cobre e as ligas de cobre podem ser reunidos em três categorias básicas, que são: **Cobres, Cobres ligados e ligas de cobre.**

### - Cobres

Reúne os principais tipos de cobre de emprego na indústria de eletroeletrônicos, incluindo o cobre eletrolítico tenaz e o cobre isento de oxigênio. Nas aplicações em sistemas mecânicos onde a soldabilidade é importante, é usado cobre desoxidado com fósforo.

O cobre eletrolítico tenaz apresenta teor residual de oxigênio de 0,04wt%, que pode se combinar com o hidrogênio proveniente da atmosfera criada pelo processo de soldagem e provocar a fragilização da junta soldada.

O cobre isento de oxigênio não apresenta o problema de soldagem supra citado, entretanto, pela fabricação em processos a vácuo, é mais caro.

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Cobre

Considera-se cobre, comumente, o metal que contém 99,3 wt% ou mais desse elemento (incluindo o teor de prata), ao qual não foi adicionado outro elemento, exceto para fins de desoxidação.

- **Cobre eletrolítico tenaz:** contém um teor mínimo de cobre de 99,80 wt% (incluindo a prata até 0,1wt%), um residual de oxigênio entre 0,02 e 0,07 wt% e o restante de outras impurezas (0,01wt%).

- **Cobre desoxidado com fósforo:** contém desde 99,80 a 99,90wt% de cobre (e prata), teores residuais de fósforo entre 0,004 e 0,040wt%. Em casos especiais com baixo teor de fósforo, a faixa está entre 0,001 e 0,005wt% de fósforo.

- **Cobre isento de oxigênio:** apresenta cobre na faixa de 99,95 a 99,99wt% de cobre (e prata), sem teores individuais de óxido cuproso ou desoxidantes (como o fósforo).



# COBRE

## Classificação e Designação

O cobre e as ligas de cobre podem ser reunidos em três categorias básicas, que são: cobres, cobres ligados e ligas de cobre.

### - Cobres Ligados

Os cobres ligados são ligas que apresentam teor de elementos de liga muito baixo.

A adição destes pequenos teores de elementos de liga visa elevar as outras propriedades (exceto a condutividade elétrica e térmica), como: resistência em temperatura mais elevada, resistência mecânica em temperatura ambiente ou ainda usinabilidade.

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Cobre Ligados

- **Ligas Cobre-prata:** apresentam entre 0,025 e 0,095 wt% de prata. Nestes teores, a prata solubiliza-se totalmente no cobre. A presença de prata eleva a resistência à fluência em temperaturas relativamente elevadas, preservando a elevada condutividade elétrica (100% IACS). Quando encruado, apresenta maior resistência até temperatura na faixa da soldagem por brasagem fraca (branca).

- **Ligas Cobre-cádmio:** Apresentam teor de cádmio entre 0,05 e 0,3 wt%, o qual se solubiliza totalmente no cobre. A presença do cádmio eleva a resistência à fadiga e ao desgaste, entretanto, a condutividade elétrica é reduzida para a faixa de 85 a 96% IACS.

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Cobre Ligados

- **Ligas Cobre-cromo:** apresentam entre 0,6 e 1,2 wt% de cromo. Nestes teores, o cromo promove a formação de fases que permitem a aplicação do tratamento térmico de solubilização e envelhecimento. Assim, quando tratado termicamente, atinge elevada resistência mecânica e resistência à queda de dureza em alta temperatura (até cerca de 400<sup>0</sup>C). Desta forma, as ligas apresentam condutividade elétrica entre 40 e 80% IACS.

- **Ligas Cobre-zircônio:** Apresentam teor de zircônio entre 0,13 e 0,20 wt%, o qual permite a aplicação de tratamento térmico de solubilização e envelhecimento, elevando a resistência mecânica e a resistência a quente até cerca de 450<sup>0</sup>C. A condutividade elétrica é muito boa, sendo mantida em cerca de 93% IACS.

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Cobre Ligados

- **Ligas Cobre-telúrio:** apresentam entre 0,4 e 0,6 wt% de telúrio. Nestes teores, o telúrio promove a formação de finas partículas de fases intermetálicas cobre-telúrio, o que eleva a usinabilidade das ligas. Desta forma, as ligas apresentam condutividade elétrica de cerca de 93% IACS.

# COBRE

## Classificação e Designação

O cobre e as ligas de cobre podem ser reunidos em três categorias básicas, que são: cobres, cobres ligados e ligas de cobre.

### - Ligas de Cobre

- As ligas de cobre se classificam de acordo com o tipo de elemento básico adicionado recebendo, em alguns casos, algumas denominações tradicionais como: latão, bronze ou alpacas, etc.

Latões – ligas cobre-zinco

Bronzes – ligas cobre-estanho

Cupro-níqueis – ligas cobre-níquel ou Alpacas

Ligas cobre-alumínio (ou bronzes ao alumínio)

Bronzes de silício – ligas cobre-silício

Ligas Cobre-berílio

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Ligas de Cobre

#### **Latões** – ligas cobre-zinco

Os latões, utilizados mais como ligas conformadas do que fundidas, abrangem um grande número de ligas com teores de zinco entre 5 e 50 wt%, podendo conter ainda outros elementos de liga.

Os latões com até 37 wt% de zinco são monofásicos em temperatura ambiente (latões alfa).

Os latões com zinco na faixa de 37 a 45 wt% são bifásicos, apresentando a fase beta em adição à alfa.

Os latões com zinco na faixa de 45 a 50 wt% tornam-se monofásicos novamente, entretanto, apresentam somente fase beta (latões beta).

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Ligas de Cobre

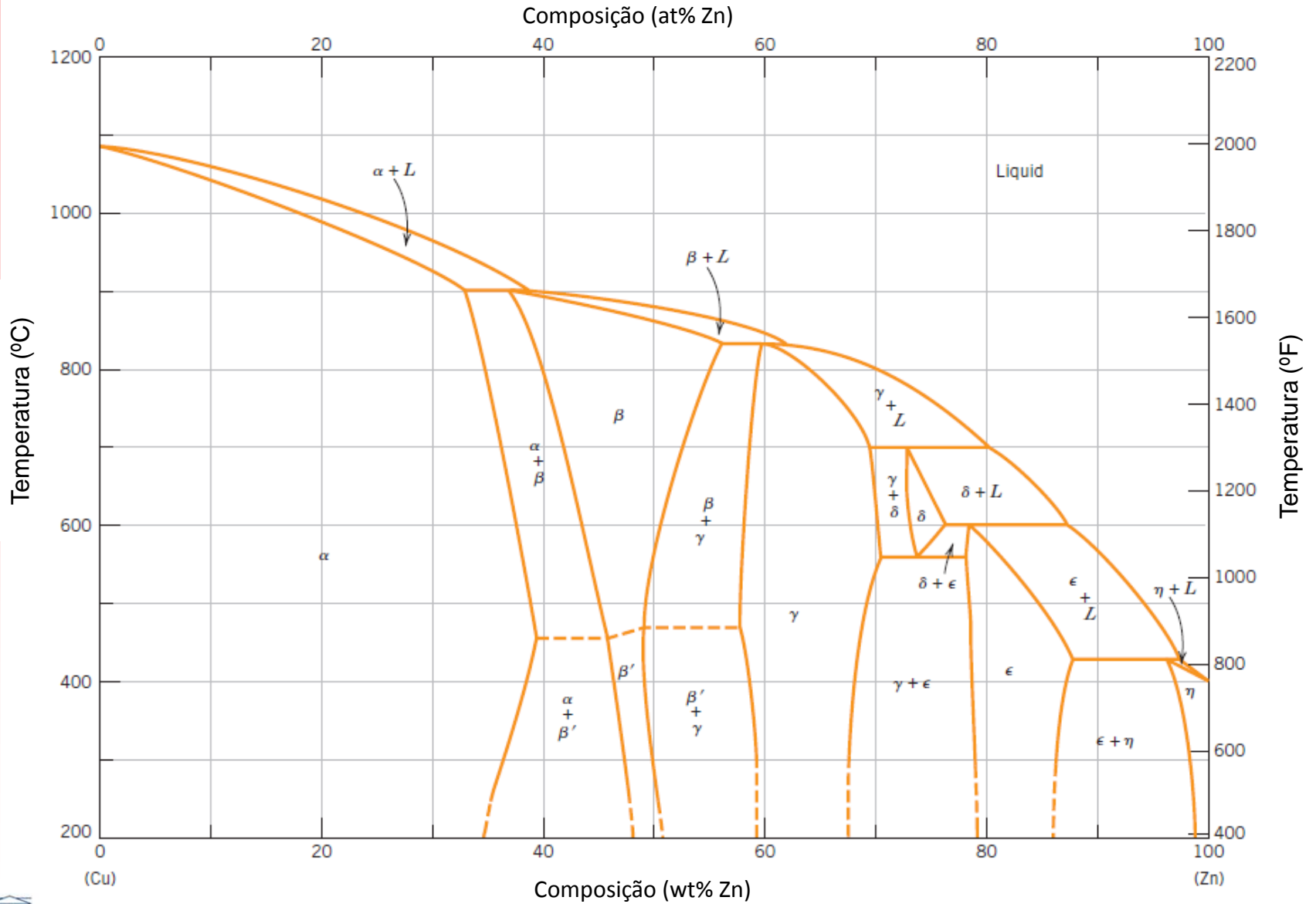
**Latões** – ligas cobre-zinco

Latões alfa apresentam aumento da resistência mecânica e da ductilidade para aumento do teor de zinco até 30 wt%.

Latões bifásicos (alfa-beta) apresentam aumento mais significativo da resistência mecânica, com redução da ductilidade.

A resistência à corrosão é reduzida em determinados meios com o aumento do teor de zinco, uma vez que aparece o fenômeno de dezincificação.

# COBRE E SUAS LIGAS





# COBRE

## Classificação e Designação

### - Ligas de Cobre

**Bronzes** – ligas cobre-estanho

Os bronzes comuns apresentam entre 2 e 10 wt% de estanho nas ligas conformadas e entre 5 e 11 wt% de estanho para as ligas fundidas.

Até cerca de 8 wt%, as ligas podem ser trabalhadas a frio, a fim de elevar a dureza e o limite de escoamento.

O aumento do teor de estanho até cerca de 15% é acompanhado de elevação da resistência mecânica, com conseqüente queda da ductilidade a partir de 5 wt% deste elemento.

As propriedades mecânicas melhoram com a desoxidação com fósforo.

# COBRE

## Classificação e Designação

### - Ligas de Cobre

#### **Bronzes** – ligas cobre-estanho

Ligas contendo entre 8 e 16 wt% de estanho podem ser monofásicas, com fase alfa (solução sólida de estanho em cobre).

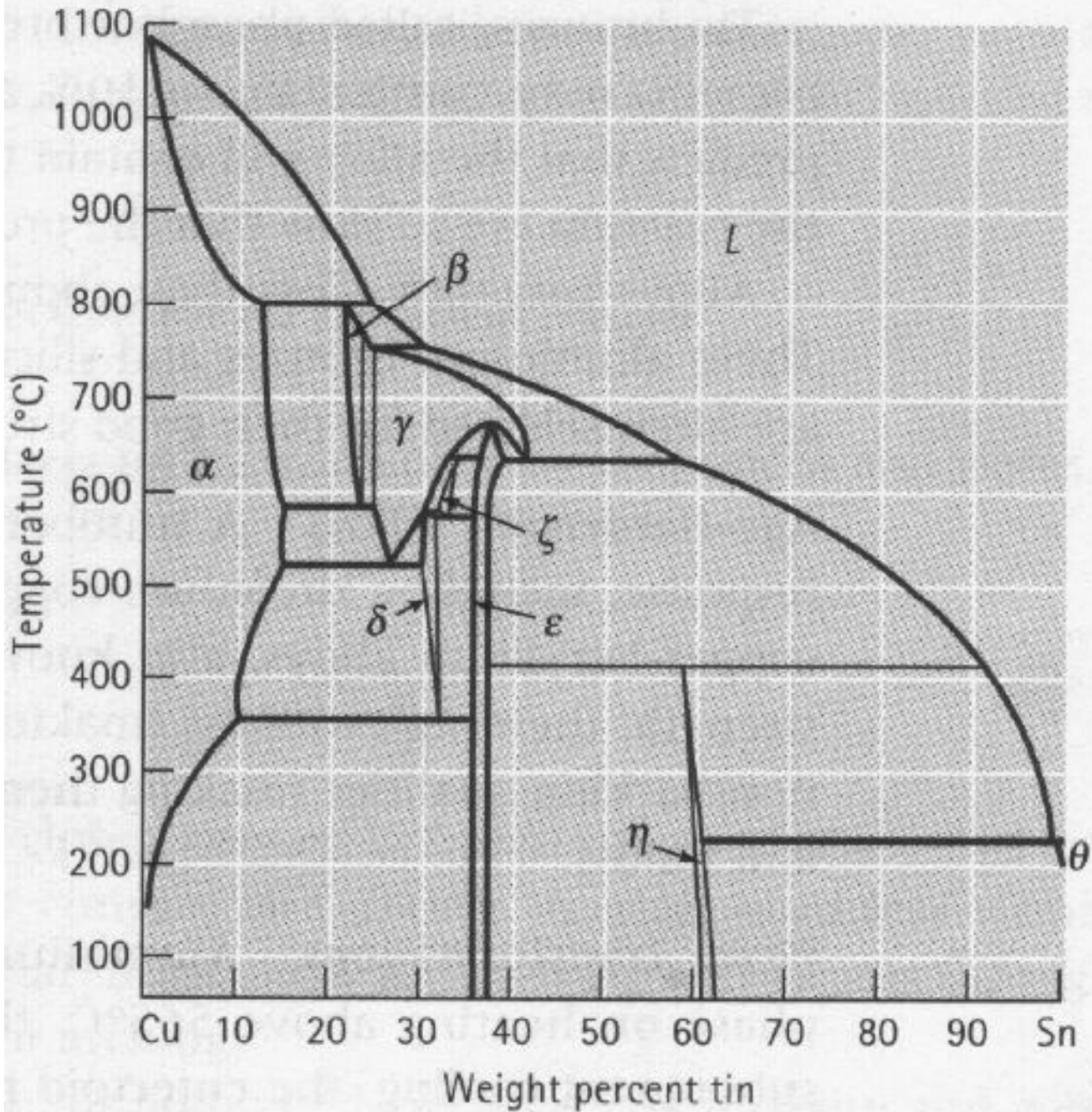
Para teores superiores a 16 wt%, surge uma fase intermetálica cobre-estanho, chamada de fase delta, com elevada dureza.

A associação de uma matriz dúctil e relativamente resistente à tração (fase alfa), com partículas dispersas de elevada dureza (fase delta), confere à liga características de material antifricção, o que torna a liga adequada para a fabricação de mancais de deslizamento.

Chumbo pode ser adicionado aos bronzes, conferindo melhores propriedades antifricção, melhor usinabilidade e estanqueidade (peças fundidas).

Ao contrário dos latões, os bronzes são preferencialmente fabricados por fundição.

# COBRE E SUAS LIGAS



# COBRE

## Classificação e Designação

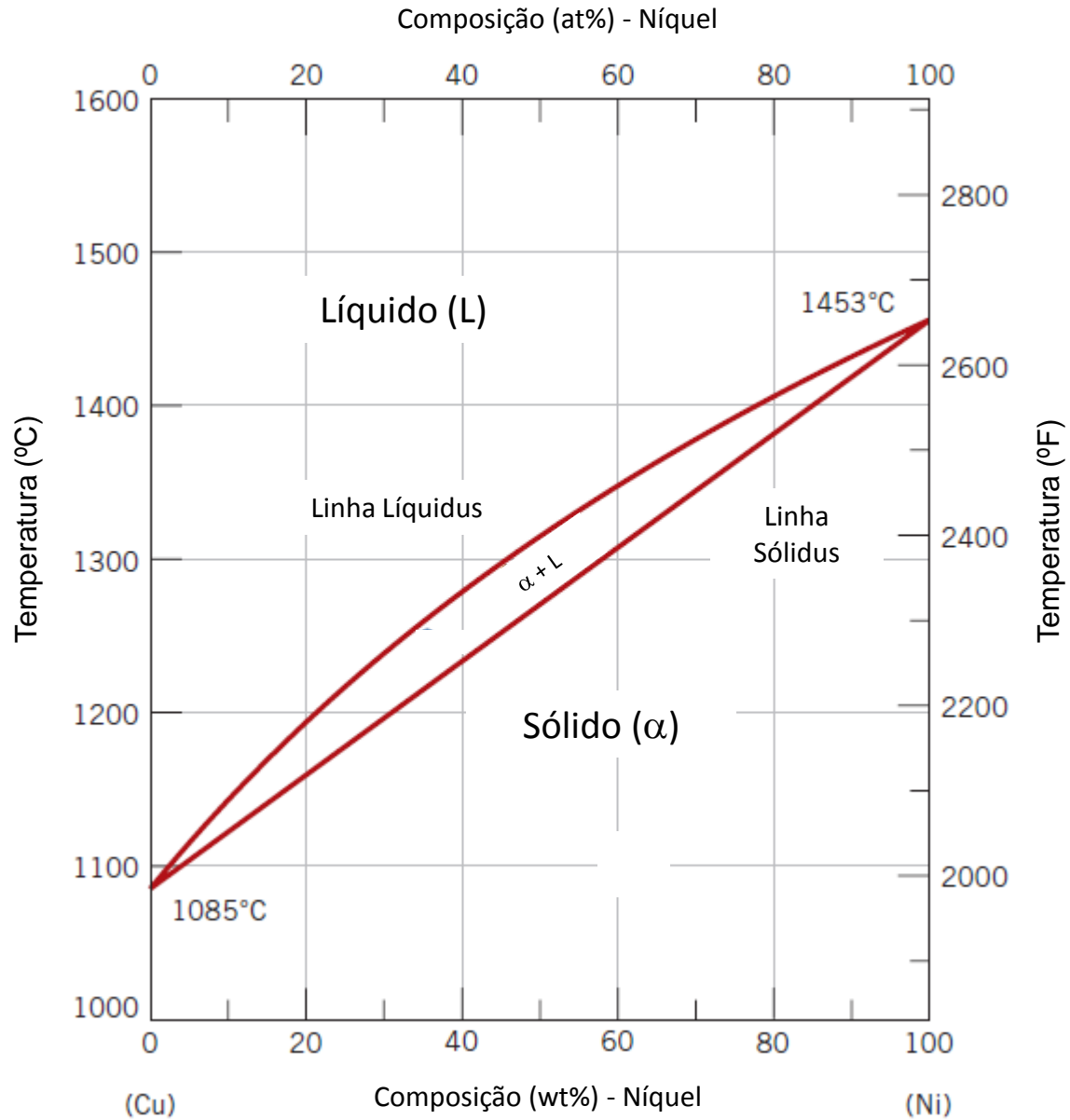
### - Ligas de Cobre

**Cupro-níqueis** – ligas cobre-níquel

Estas ligas formam uma série contínua de soluções sólidas, permanecendo monofásicas para qualquer composição.

Pequenos teores de ferro e manganês elevam a resistência à corrosão-erosão pela ação do fluxo de água.

Podem aparecer silício e berílio nas ligas para fundição, o que eleva a resistência à corrosão e resistência mecânica.



# COBRE

## Classificação e Designação

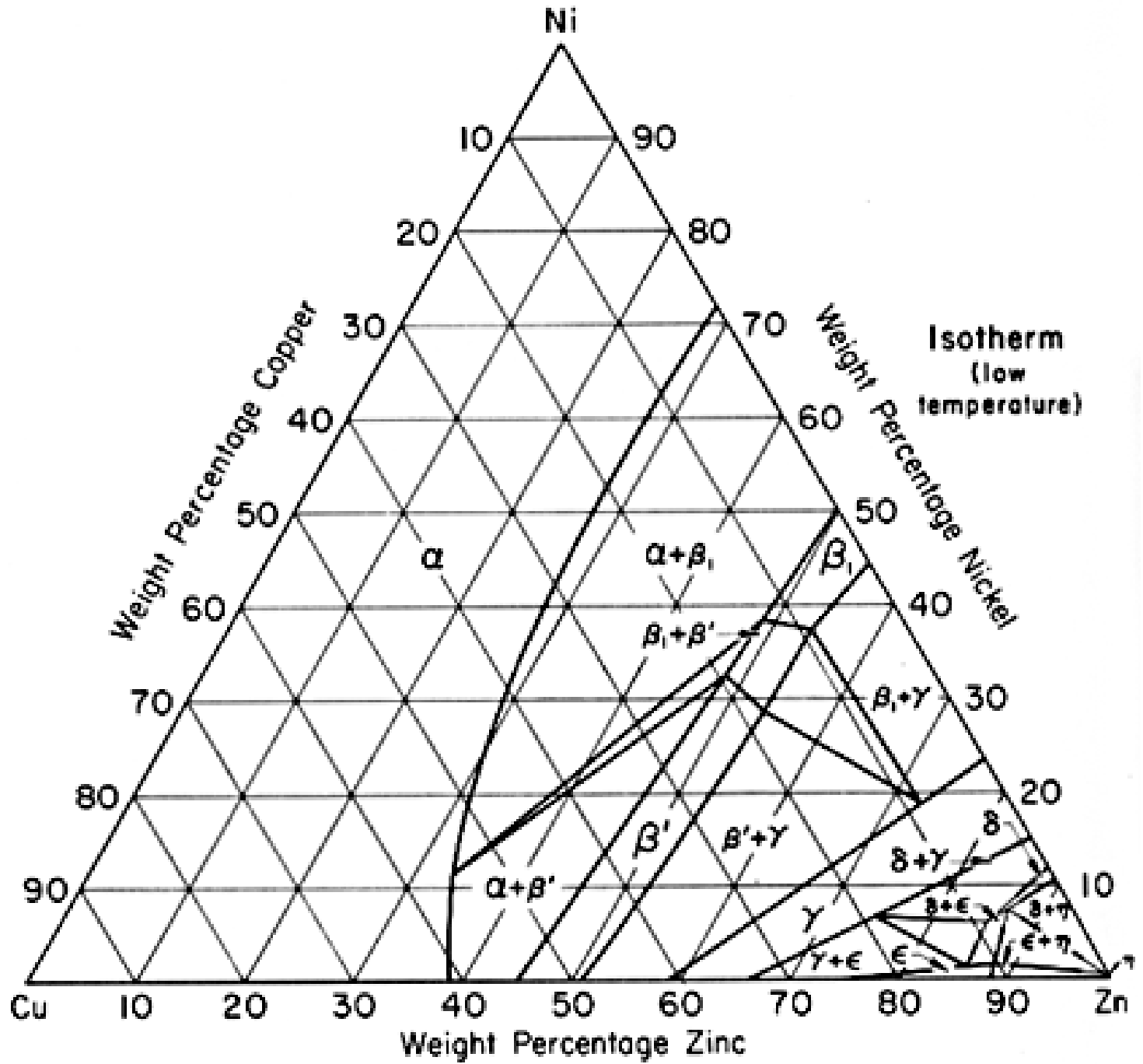
### - Ligas de Cobre

#### Ligas Cobre-níquel-zinco

Alpacas são ligas ternárias cobre-níquel-zinco, que eventualmente podem conter teores significativos de outros elementos, como o chumbo, por exemplo. Estas ligas contêm de 10 a 30 wt% de níquel, porém comercialmente em geral até 18 wt% de níquel, 45 a 70 wt% de cobre e o restante de zinco.

As alpacas são soluções sólidas homogêneas que podem ser deformadas a frio e a quente, além de serem resistentes à corrosão.

A adição de chumbo, além de aumentar a usinabilidade, permite o uso das alpacas para a fabricação de materiais para gravação com fins decorativos.



# COBRE

## Classificação e Designação

### - Ligas de Cobre

#### **Ligas cobre-alumínio (ou bronzes ao alumínio)**

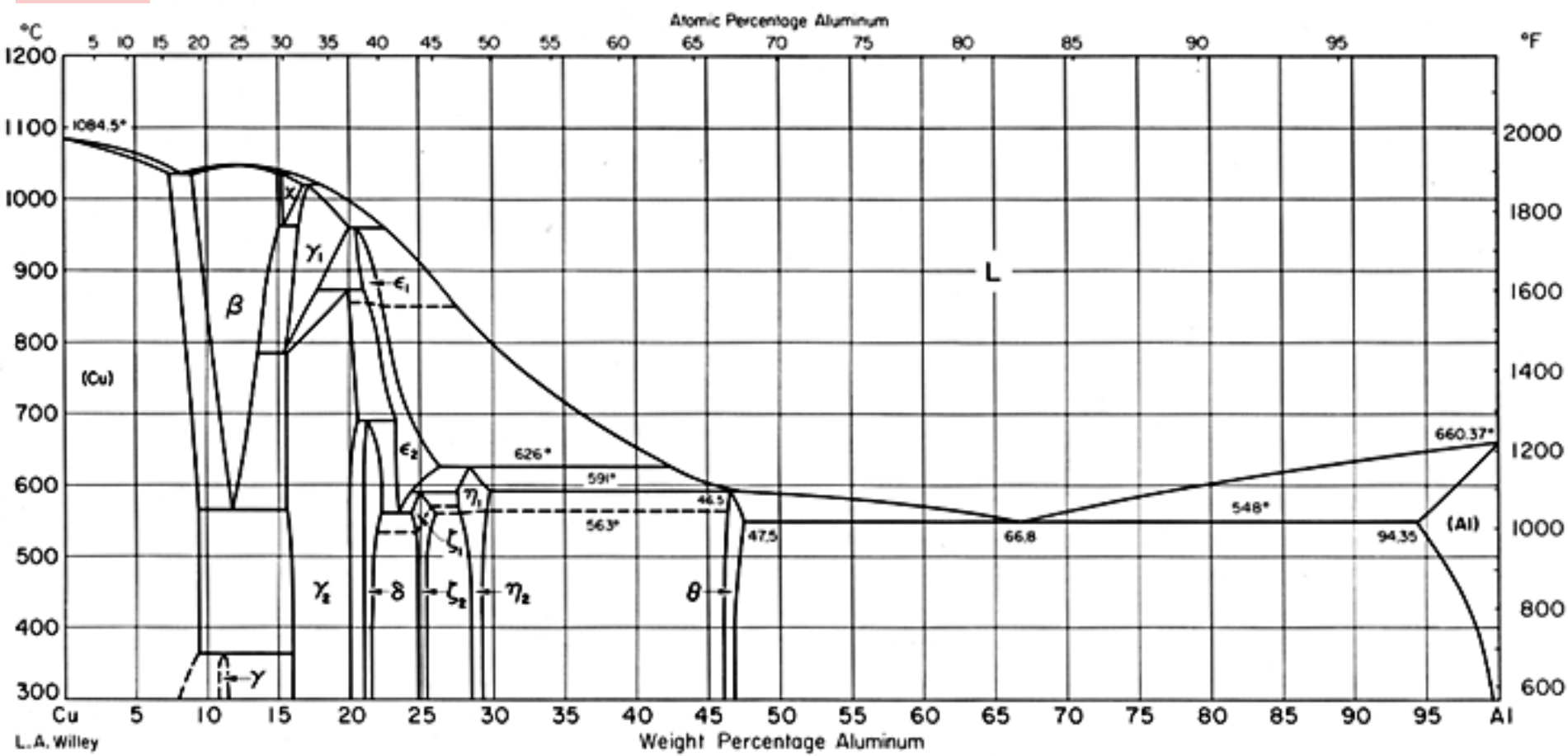
As ligas com até 5 wt% de alumínio desenvolvem estrutura monofásica, caracterizando-se pela elevada resistência mecânica e resistência à corrosão, além da elevada conformabilidade à frio.

Para ligas com alumínio entre 8 e 9 wt%, a estrutura é bifásica e as ligas caracterizam-se pela elevada resistência à oxidação e conformabilidade a quente. O ferro adicionado eleva a resistência mecânica, enquanto o manganês, eleva a soldabilidade.

#### **Bronzes de silício – ligas cobre-silício**

Apresentam elevada resistência à corrosão por ácidos e elevada soldabilidade, como consequência do teor de silício. As ligas conformadas apresentam até 3 wt% de silício, enquanto para fundição podem ter entre 4 e 5 wt% deste elemento.

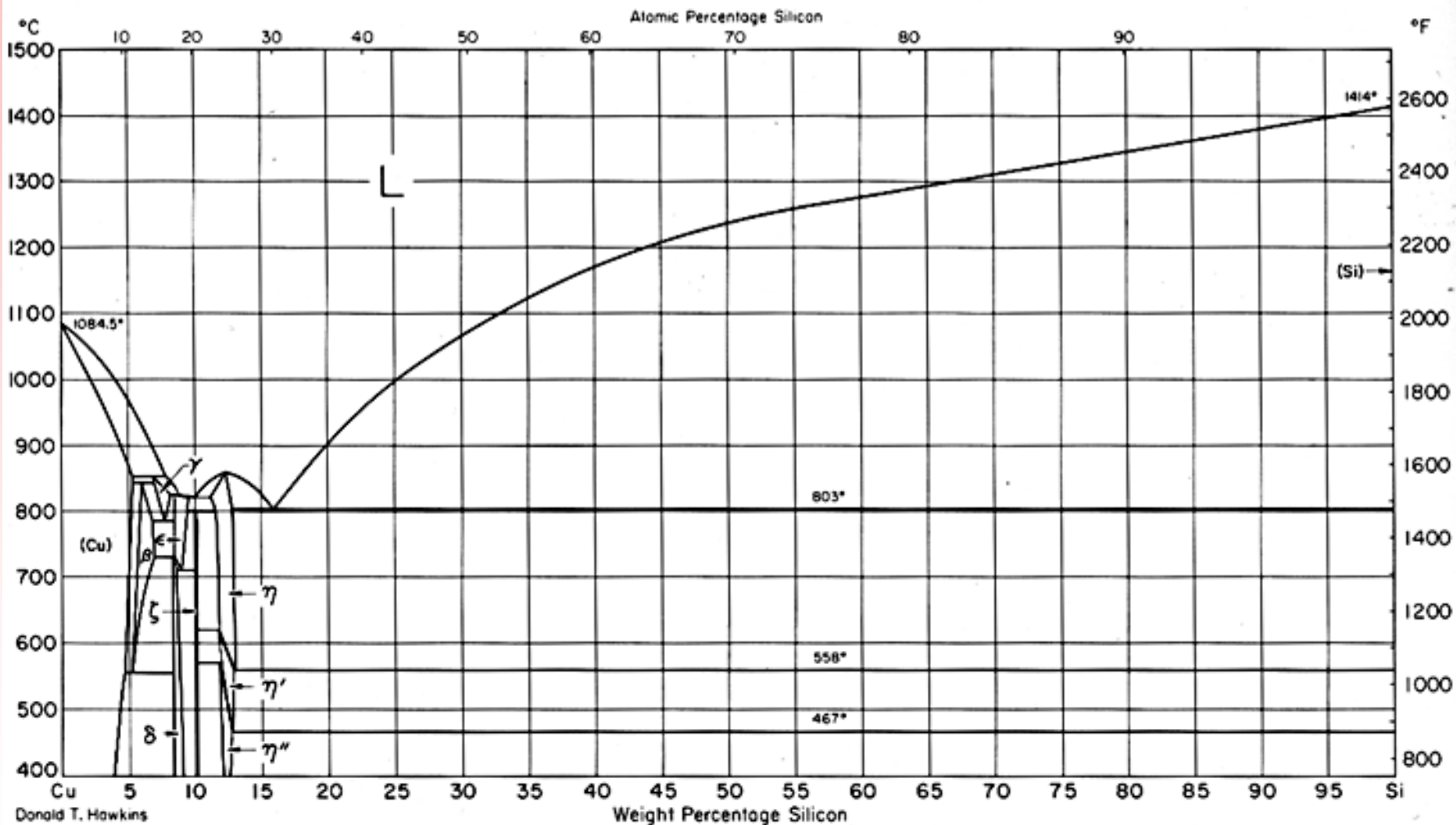




L.A. Willey



# Cu-Si Copper-Silicon



# COBRE

## Classificação e Designação

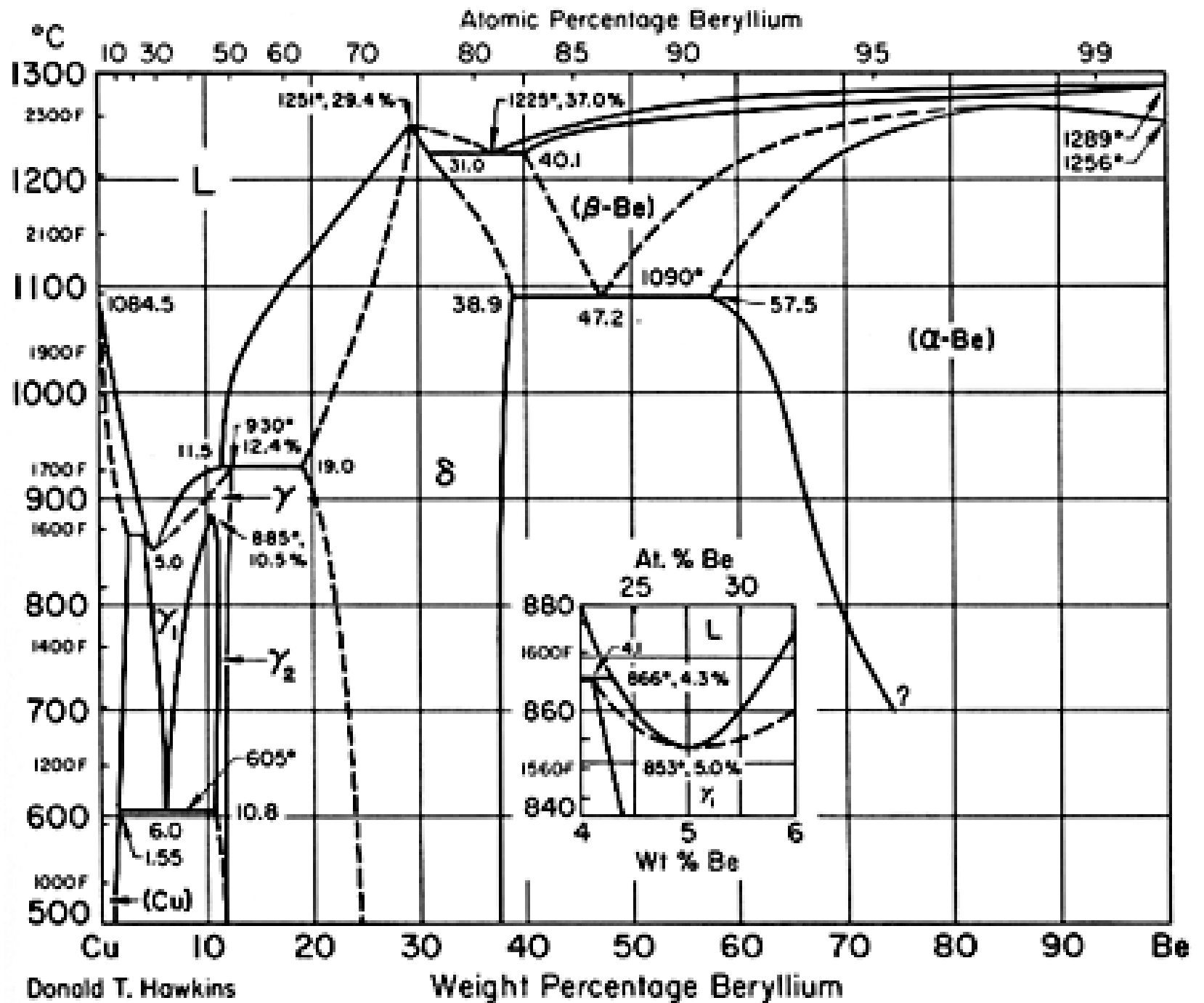
### - Ligas de Cobre

#### Ligas cobre-berílio

Estas ligas contêm entre 1,5 e 3,0 wt% de berílio, além de pequenos teores de cobalto, níquel e ferro.

Na condição solubilizada e envelhecida, essas ligas apresentam elevada resistência mecânica, elevado limite de escoamento e maior resistência à fadiga.

**COBRE E SUAS LIGAS**



Donald T. Hawkins

# COBRE

## Classificação e Designação

Os materiais à base de cobre podem ser divididos em duas categorias: ligas trabalhadas e ligas fundidas.

Cobres dúcteis são usados na forma de produtos conformados (barras, tubos, chapas, perfis e arames).

Na forma fundida, estão normalmente os latões e os bronzes.

A designação do cobre e suas ligas segue a numeração UNS (Unified Numbering System – SAE / ASTM), conforme segue:

### Ligas trabalhadas:

- Cobres (incluindo cobre ligado com prata): 10100 a 13000
- Cobres ligados: 14000 a 16000
- Ligas de cobre: 17000 a 70000

### Ligas fundidas:

- Utilizam a numeração entre 80000 e 90000.

# COBRE

## Sistema de designação de têmperas

Cobre apresenta um sistema de designação de têmpera baseada no mecanismo de endurecimento:

- Grau de encruamento obtido nos processos de conformação
- Grau de endurecimento por tratamento térmico (solubilização e envelhecimento).

H00 – H86 – Encruamento por trabalho a frio em diversos níveis

HR01 a HR50 – Encruamento + tratamento térmico de alívio de tensões

M01 a M45 – Condição como fabricado (fundido ou forjado)

O10 – O82 – Tratamento térmico de recozimento visando determinadas propriedades mecânicas

OS005 a OS200 – Recozimento para acerto do tamanho de grão

TB00, TD00 a TD04, TF00, TH01 a TH04, TL00 a TL10 – usado para diversas combinações de tratamentos termomecânicos, encruamento e tratamento térmico de solubilização e envelhecimento, além de outras designações incluindo a soldagem.

# COBRE

## Classificação e Designação

### Ligas Trabalhadas

- C1XXXX - Cobre e Cobre ligado
- C2XXXX – Latões (Cu-Zn)
- C3XXXX – Bronzes (Cu-Sn)
- C4XXXX - Bronze com Zn
- C5XXXX - Bronze Fosforoso
- C61XXX - C64XXX- Cobre Alumínio
- C65XXX- Cobre Silício
- C66XXX - C69XXX- bronzes especiais
- C7XXXX - Cobre Níquel

### Ligas Fundidas

- C8XXXX – Latões (Cu-Zn), ligas Cu-Cr, Cu-Co e Cu-Be
- C9XXXX – Bronzes (Cu-Sn), ligas Cu-Al, Cu-Ni e Cu-Ni-Zn

# COBRE

## Composições – Ligas Trabalhadas

DESIGNAÇÃO	ELEMENTOS QUÍMICOS BÁSICOS (EM %)												
	Cu	Ag	Cr	Te	Cd	Zr	Zn	Sn	Ni	Al	Si	Be	Outros
COBRE													
C 11000	99,90 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040
C 10300	99,95 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001-0,005P
C 10100	99,95 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COBRE LIGADO													
C 11300	99,0-99,9	0,027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040
C 18200	rest.	-	0,6-1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 14500	99,90 mín.	-	-	0,4-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 14300	99,8-99,9	-	-	-	0,05-0,15	-	-	-	-	-	-	-	0,004-0,012P
C 15000	99,95 mín.	-	-	-	-	0,13-0,20	-	-	-	-	-	-	-
LIGAS DE COBRE													
C 21000	94,0-96,0	-	-	-	-	-	rest.	-	-	-	-	-	-
C 26000	68,5-71,5	-	-	-	-	-	rest.	-	-	-	-	-	-
C 28000	59,0-63,0	-	-	-	-	-	rest.	-	-	-	-	-	-
C 52100	90,5-92,8	-	-	-	-	-	-	7,0-9,0	-	-	-	-	0,03-0,35P
C 52400	88,3-90,1	-	-	-	-	-	-	9,0-11,0	-	-	-	-	0,03-0,35P
C 70600	rest.	-	-	-	-	-	-	-	9,0-11,0	-	-	-	1-1,8Fe
C 74500	63,5-68,5	-	-	-	-	-	rest.	9,0-11,0	-	-	-	-	-
C 60600	92,0-96,0	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0-7,0	-	-	-
C 65100	rest.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8-2,0	-	-
C 17000	rest.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,60-1,79	0,20 Ni+Co mín.



# COBRE

## Composições – Ligas Fundidas

### ELEMENTOS QUÍMICOS BÁSICOS (%)

DESIGNAÇÃO	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Al	Mn	Ni	Si	Outros
LIGAS MAIS COMUNS										
C 83600	85	5	5	5	-	-	-	-	-	-
C 84400	81	3	7	9	-	-	-	-	-	-
C 84800	76	3	6	15	-	-	-	-	-	-
C 85400	67	1	3	29	-	-	-	-	-	-
C 85800	58	1	1	40	-	-	-	-	-	-
C 86300	63	-	-	25	3	6	3	-	-	-
C 86500	58	-	-	39	1	1	1	-	-	-
C 87200	89	-	-	5	2,5	1	-	-	1 a 5	-
C 87500	82	-	-	14	-	-	-	-	4	-
C 90300	88	3	-	4	-	-	-	-	-	-
C 92200	88	6	1,5	4,5	-	-	-	-	-	-
C 93700	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-
C 94300	70	5	25	-	-	-	-	-	-	-
C 95300	89	-	-	-	1	10	-	-	-	-
C 95800	81,3	-	-	-	4	9	1,2	-	-	-
C 97600	64	4	4	8	-	-	-	20	-	-
C 97800	66	5	2	2	-	-	-	25	-	-
C 81100	99,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 81400	99	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8Cr-0,06Be
C 81800	97	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4Be-1,5Co-1Ag
C 82400	98	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7 Be-0,3Co
C 96400	70	-	-	-	-	1	-	30	-	1,5Nb

# COBRE

## Propriedades – Ligas Trabalhadas

METAL/LIGA (Designação)	CONDIÇÃO (Forma)	LIMITE DE RESISTÊNCIA (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	ALONGAMENTO (% em 50 mm)
COBRE ELETROLÍTICO (C 11000)	Recozido Encruado	220 395	69 365	45 4
COBRE-PRATA (C 11300)	Recozido Encruado	235 395	72 365	45 4
COBRE-CÁDMIO (C 14300)	Recozido Encruado	220 400	75 385	42 3
COBRE-CROMO (C 18200)	Solubilizado Solubilizado + encruado + precipitado	235 460	130 405	40 14
COBRE-ZIRCÔNIO (C 15000)	Recozido (barra 6 mm) Solubilizado + encruado + precipitado + encruado (barra 9,5 mm)	285 470	250 440	34 11
COBRE-TELÚRIO (C 14500)	Recozido (barra 13 mm) Encruado (idem .)	230 330	76 305	46 15

# COBRE

## Propriedades – Ligas Trabalhadas

LIGA	CONDIÇÃO (Forma)	LIMITE DE RESISTÊNCIA (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	ALONGAMENTO (% em 50 mm)
LATÃO 95-5 (C 21000)	Recozido	235	64	45
	Encruado	440	400	4
LATÃO 70-30 (C 26000)	Recozido	300	75	68
	Encruado	680	–	3
LATÃO 60-40 (C 28000)	Recozido	370	145	45
	Encruado	485	345	10
BRONZE 92-8 (C 52100)	Recozido	380	–	70
	Encruado	825	–	2
BRONZE 90-10 (C 52400)	Recozido	455	–	68
	Encruado	885	–	3
COBRE-NÍQUEL 90-10 (90 70600)	Recozido	350	90	35
	Encruado	585	540	3
ALPACA 65-10-25 (C 74500)	Recozido	340	125	49
	Encruado	655	525	3
COBRE-ALUMÍNIO 95-5 (C 60600)	Recozido (placa 13 mm)	310	115	40
	Encruado (idem)	415	165	35
COBRE-SILÍCIO 98,5-1,5 (C 65100)	Recozido	275	105	50
	Encruado (idem)	620	460	12
COBRE-BERÍLIO 98-2 (C 17000)	Solubilizado (tira)	410-540	190-370	35-60
	Solubilizado + precipitado + (idem)	1030-1240	895-1140	4-10

# COBRE

## Soldabilidade

Cobre e suas ligas são mais comumente soldados por processos a arco como GTAW, GMAW e SMAW. Podem ainda ser soldados por oxigás, laser, feixe de elétrons, resistência, ultrassom, centelhamento, fricção e pressão e podem ser unidos também por brasagem.

GTAW – Uso mais frequente com espessuras até 3 mm com chanfro reto e sem metal de adição, enquanto acima de 3mm espessura deve-se usar adição. Acima de 6mm o processo mais adequado é o GMAW.

- Minimizar ZTA principalmente para ligas endurecidas por precipitação
- CC- é a polaridade mais usada. Alta frequência pode ser usada nas ligas com Al e Be para quebrar filme de oxido
- Eletrodo EWTh-2 é o mais utilizado

# COBRE

## Soldabilidade

Cobre e suas ligas são soldáveis a arco mas apresentam pior soldabilidade que os aços.

### **As dificuldades da soldagem a arco de cobre são:**

- 1- Elevada condutividade térmica tende a causar falta de fusão (ou dificuldade de fusão).
- 2- Elevada expansão térmica causa tensionamento e trincamento.
- 3- Baixo ponto de fusão pode induzir à formação de inclusões de escória, especialmente pelo processo SMAW. A escória pode ter maior temperatura de fusão do que o metal fundido.
- 4- O coalescimento dos grãos pode levar a degradação das propriedades.
- 5- Elementos presentes como chumbo, estanho, bismuto e fósforo podem causar fragilização e trincamento. Vapores de zinco podem impedir a completa fusão.

# COBRE

## Soldabilidade

Cobre apresenta condutividade térmica extremamente elevada (oito vezes maior que a dos aços). Desta forma, o calor do arco é dissipado rapidamente da solda para o metal base e, conseqüentemente, a penetração pode ter difícil atendimento, resultando em falta de fusão na raiz.

Pré-aquecimento da junta é necessário em diversos casos a fim de assegurar a boa penetração.

Porosidade devida a hidrogênio dissolvido pode ocorrer durante a soldagem de cobre.

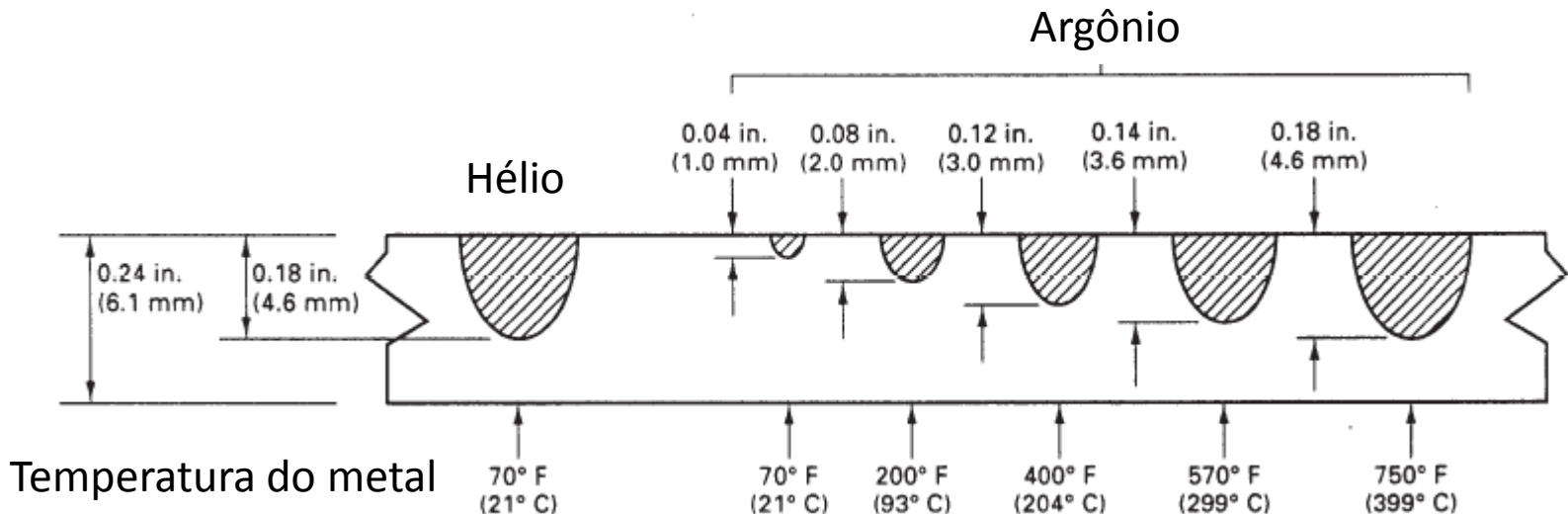
Cobre puro e desoxidado com oxigênio devem ser soldados com composições similares às das ligas usadas.

# COBRE

## Soldabilidade

Seções até 1,6mm são soldadas com argônio como gás de proteção. Em seções com maior espessura, redução da velocidade de soldagem e pré-aquecimento torna-se necessário quando for usado argônio.

Para seções com espessura maior que 1,6mm, hélio é preferido como gás de proteção, reduzindo a tendência ao aprisionamento de oxigênio. Para mesma corrente de soldagem, maiores velocidades poderão ser usadas com hélio, já que a penetração é maior.



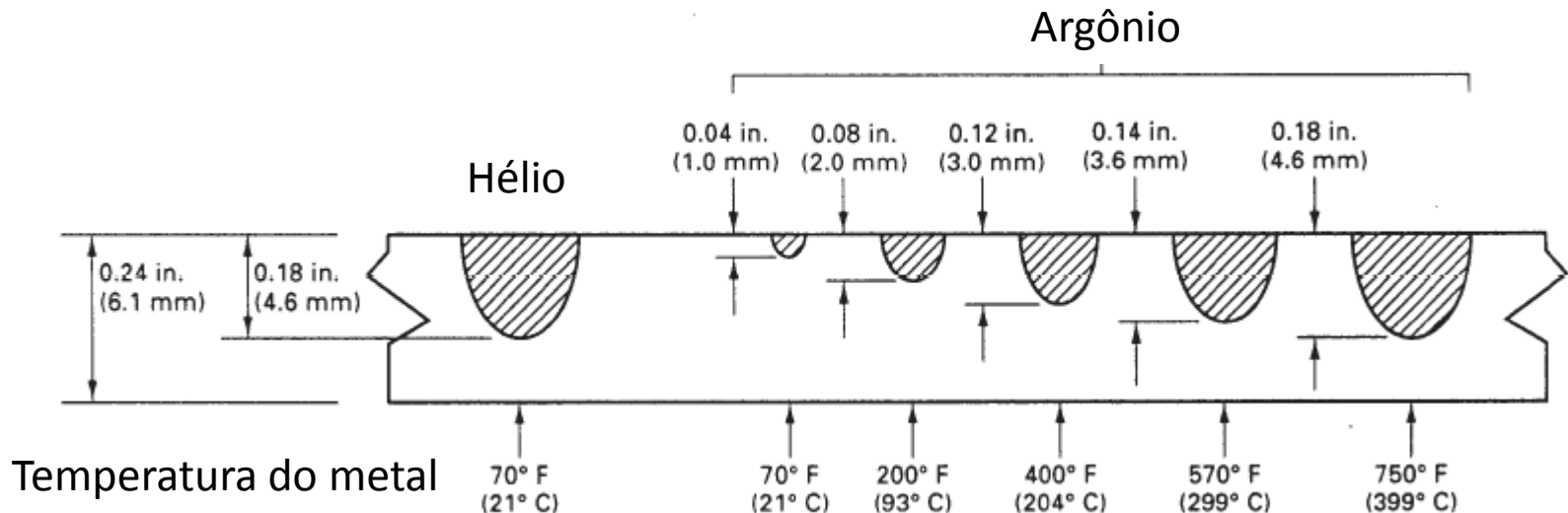
# COBRE

## Soldabilidade

Misturas de argônio e hélio poderão ser usados, resultando em características intermediárias.

Misturas entre 65 e 75% de hélio com argônio provém boa penetração (efeito do hélio) e maior facilidade de controle (efeito do argônio).

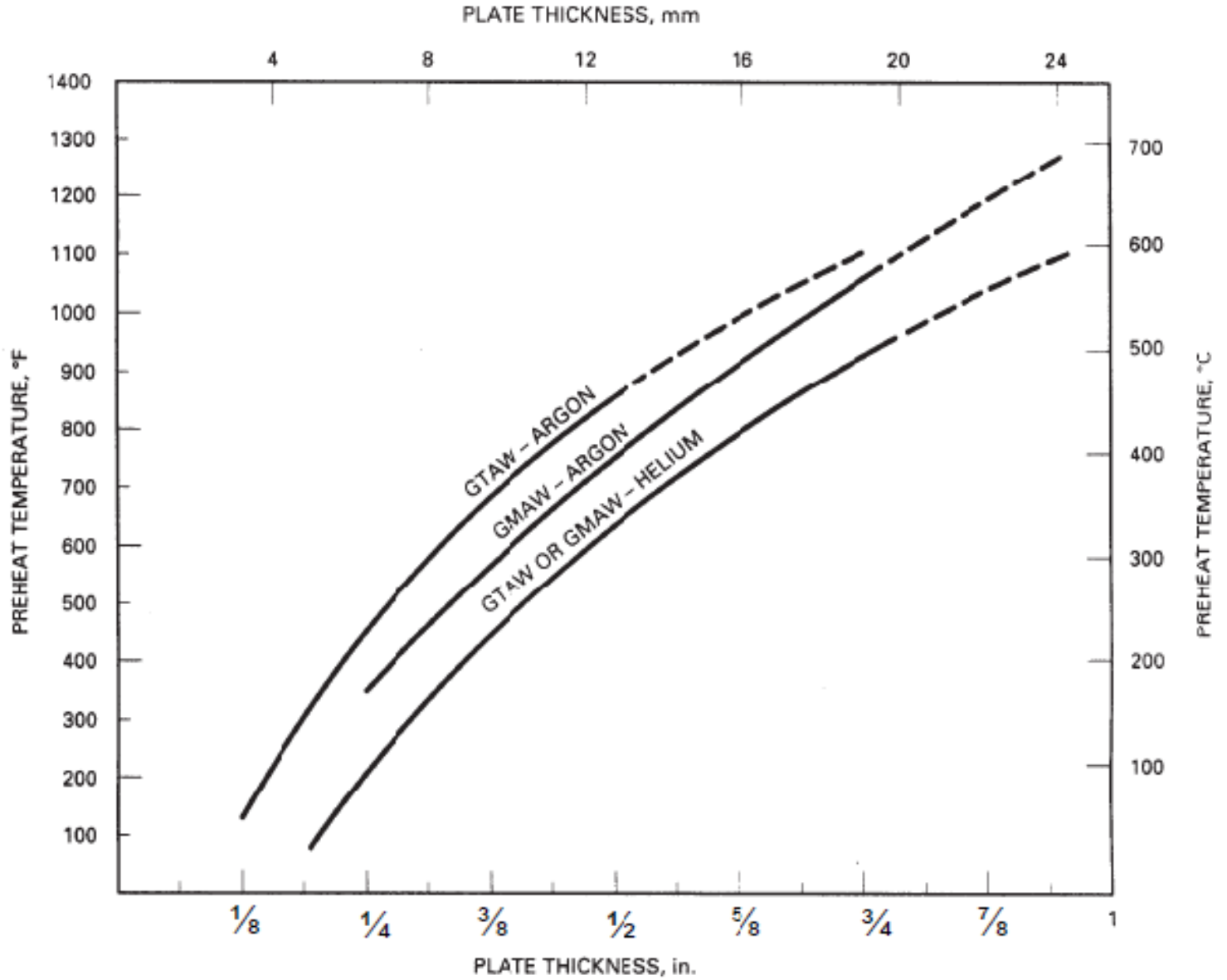
O fluxo de gás de proteção varia entre 7,1 e 19 L/min. Seções mais espessas requerem maior corrente de soldagem, podendo ser necessária a adoção de um fluxo maior que 19 L/min.





# COBRE

## Soldabilidade



# COBRE

## Soldabilidade

GMAW é o processo preferido para seções maiores que 6mm e para a união de bronzes ao alumínio, ao silício e ligas cobre-níquel.

Este processo é preferível ao GTAW porém, para algumas aplicações específicas, o maior aporte térmico pode ser um problema pela formação de maior ZTA.

Usa-se corrente contínua polaridade positiva (CC+).

O gás de proteção usado é argônio ou misturas de Ar + He para maiores aportes térmicos.

Chanfro reto até 3 mm e V entre 3 e 13mm. Acima de 13 duplo V ou duplo U são adotados.

Normalmente usa-se posição plana e transferência spray. Para soldagem fora de posição GMAW preferível a GTAW ou SMAW. Restrito a Al Bronze, Si Bronze e Cu-Ni, adota-se transferência globular ou curto circuito.

# COBRE

## Soldabilidade

O processo SMAW usado para ligas de cobre, quando comparado ao SMAW de aços baixo carbono, requer:

- maior abertura de raiz,
- maior ângulo de chanfro,
- maior ponteamto,
- maior pré-aquecimento e temperatura de interpasses
- maiores correntes de soldagem.

Restrito para soldagem em posição plana

Polaridade CC+ comparado com soldagem do aço, para cobre utiliza-se corrente de 30 a 40 % maior.

# COBRE

## Soldabilidade

Eletrodos conforme AWS A5.6 para processo SMAW

AWS class.	Common name	Nominal % of main elements in <sup>(2)</sup> and tensile requirements for weld metal										
		Cu	Sn	Mn	Fe	Si	Ni	P	Al	Ti	TS, min (N/mm <sup>2</sup> )	EI, min (%)
ECu	Copper	99.5									170	20
ECuSi	Silicon bronze	94.7	(0.8)	(0.8)		3.2					350	20
ECuSn-A	Phosphor bronze	94.4	5.0					0.2			240	20
ECuSn-C	Phosphor bronze	91.4	8.0					0.2			280	20
ECuNi	Copper nickel	65.5		1.8	0.6		31			(0.3)	250	20
ECuAl-A2	Aluminum bronze	87.6			2.8	(0.8)			7.8		410	20
ECuAl-B	Aluminum bronze	85.6			3.8	(0.8)			8.8		450	10
ECuNiAl	Nickel aluminum bronze	79.4		2.0	4.5	(0.8)	5.0		7.3		500	10
ECuMnNiAl	Manganese-nickel aluminum bronze	74.1		12	4.0	(0.8)	1.8		6.3		520	15

# COBRE

## Soldabilidade

Eletrodos conforme AWS A5.7 para processo GMAW e GTAW

AWS classification	Common name	Nominal % of main elements in wire and rod <sup>(2)</sup>									
		Cu	Sn	Mn	Fe	Si	Ni	P	Al	Ti	Zn
ERCu	Copper	98.7	(0.5)								
ERCuSi-A	Silicon bronze	94.3	(0.5)	(0.8)		3.4					(0.5)
ERCuSn-A	Phosphor bronze	94.5	5.0					0.2			
ERCuNi	Copper nickel	66.7		(0.5)	0.6		31.5			0.4	
ERCuAl-A1	Aluminum bronze	92.0							7.3		
ERCuAl-A2	Aluminum bronze	89.1			(0.8)				9.8		
ERCuAl-A3	Aluminum bronze	85.5			3.3				10.8		
ERCuNiAl	Nickel aluminum bronze	79.7		2.1	4.0		4.8		9.0		
ERCuMnNiAl	Manganese-nickel aluminum bronze	74.0		12.5	3.0		2.3		7.8		

# COBRE

## Soldabilidade

### Eletrodos X ligas a serem soldadas X aplicações

Common name	AWS class.	Features	Typical applications
Copper	ECu ERCu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deoxidized with P and Si</li> <li>Good corrosion resistance but inferior electrical conductivity compared with pure copper</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of oxygen-free copper, deoxidized copper, and tough pitch copper metals</li> </ul>
Silicon bronze	ECuSi ERCuSi-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Good molten metal fusion due to low thermal conductivity and thus use a lower preheat temperature</li> <li>Needs peening to refine coarse grains</li> <li>Good resistance to chemicals and seawater</li> <li>Known as “<b>Everdur</b>” (Cu-Si-Mn)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of copper, brass, silicon bronze metals</li> <li>Claddings resistible to chemicals and seawater</li> </ul>
Phosphor bronze	ECuSn-A ECuSn-C ERCuSn-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>High-phosphorous filler metals precipitate a hard chemical compound (Cu<sub>3</sub>P) exhibiting good resistance to mechanical wear</li> <li>Needs peening to refine coarse grains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of copper, brass, phosphor bronze metals</li> <li>Overlaying on bearings</li> </ul>
Aluminum bronze	ECuAl-A2 ECuAl-B ERCuAl-A1 ERCuAl-A2 ERCuAl-A3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Good resistance to seawater and chemicals</li> <li>Good resistance to mechanical wear</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of aluminum bronze, and brass metals</li> <li>Repair welding of chemical machinery, cylinders, and marine propellers</li> </ul>

# COBRE

## Soldabilidade

### Eletrodos X ligas a serem soldadas X aplicações

Common name	AWS class.	Features	Typical applications
Nickel aluminum bronze	ECuNiAl ERCuNiAl	<ul style="list-style-type: none"> <li>High resistance to corrosion, erosion, and cavitation in salt and brackish water</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of wrought or cast nickel-aluminum bronzes</li> </ul>
Manganese-nickel aluminum bronze	ECuMnNiAl ERCuMnNiAl	<ul style="list-style-type: none"> <li>Good resistance to corrosion, erosion, and cavitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of cast or wrought manganese-nickel-aluminum bronzes</li> </ul>
Copper nickel	ECuNi ERCuNi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excellent resistance to seawater</li> <li>No preheat is used because of low heat conductivity and hot-shortness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welding of cupronickel metals</li> <li>Claddings resistible to seawater</li> </ul>

# COBRE

## Soldabilidade – Metal base x Metal de adição x Pré-Aquecimento

Base metal classification			Filler metal classification per AWS (EXXX)/JIS (YXXX)			Preheating temp. (GTAW)
Common name	JIS class	UNS No.	GTAW	GMAW	SMAW	
Oxygen-free copper	C1020	C10200	ERCu	ERCu	ECu	300-500°C (200-450)
	C1201	C12000	ERCuSi-A	ERCuSi-A	ECuSi	
Deoxidized copper	C1220	C12200	ERCuSn-A	ERCuSn-A	ECuSn-A	250-350°C (150-300)
	C1221	C12200				
	C2100	C21000	ERCuSi-A	ERCuSi-A	ECuSi	
Red brass	C2200	C22000	ERCuSn-A	ERCuSn-A	ECuSn-A	250-350°C (150-300)
	C2300	C23000	ERCuAl-A2	ERCuAl-A2	ECuAl-A2	
	C2400	C24000				
	C2600	C26000				
Brass	C2680	C26800	ERCuSi-A	ERCuSi-A	ECuSi	250-350°C (150-300)
	C2720	C27200	ERCuAl-A2	ERCuAl-A2	ECuAl-A2	
	C2801	C28000				
Naval brass	C4621	C46200	ERCuSi-A	ERCuSi-A	ECuSi	200-300°C (100-250)
	C4640	C46400	ERCuAl-A2	ERCuAl-A2	ECuAl-A2	
Phosphor bronze	C5111	C51000				200-250°C (150-200)
	C5102	C51000				
	C5191	C51900	ERCuSn-A	ERCuSn-A	ECuSn-A	
	C5212	C52100				
Aluminum bronze	C6161	C61600				150-250°C (100-200)
	C6280	C62800	ERCuAl-A2	ERCuAl-A2	ECuAl-A2	
	C6301	C63000				
Silicon bronze	-	C65100 C65500	ERCuSi-A	ERCuSi-A	ECuSi	No need
Cupronickel	C7060	C70600	ERCuNi	ERCuNi	ECuNi	No need
	C7150	C71500	YCuNi-1 <sup>(1)</sup>	YCuNi-1 <sup>(1)</sup>		



# COBRE

## Soldabilidade – Projeto da Junta

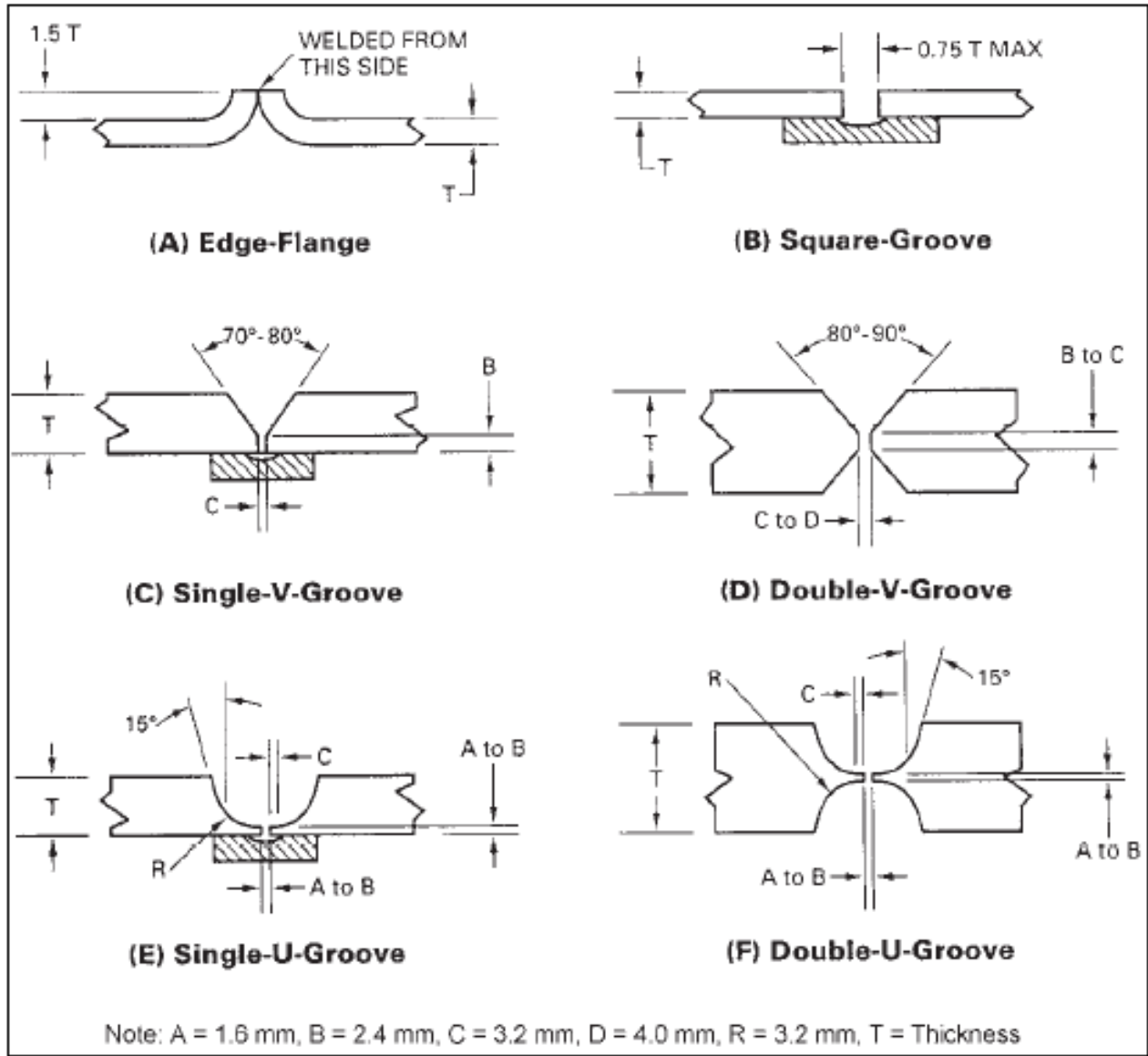
As juntas para a soldagem de cobre e suas ligas devem ter chanfros com ângulos mais largos em relação aos aços. Este fator ajuda na adequada fusão e penetração, como consequência da sua mais elevada condutividade térmica.

As juntas deverão ser previamente limpas, a fim de eliminar óleos, graxas, sujeiras, pinturas e óxidos. A remoção deve ser por métodos abrasivos ou solventes adequados.

As figuras à seguir resumem os tipos de juntas usadas para a soldagem a arco de cobre e suas ligas.

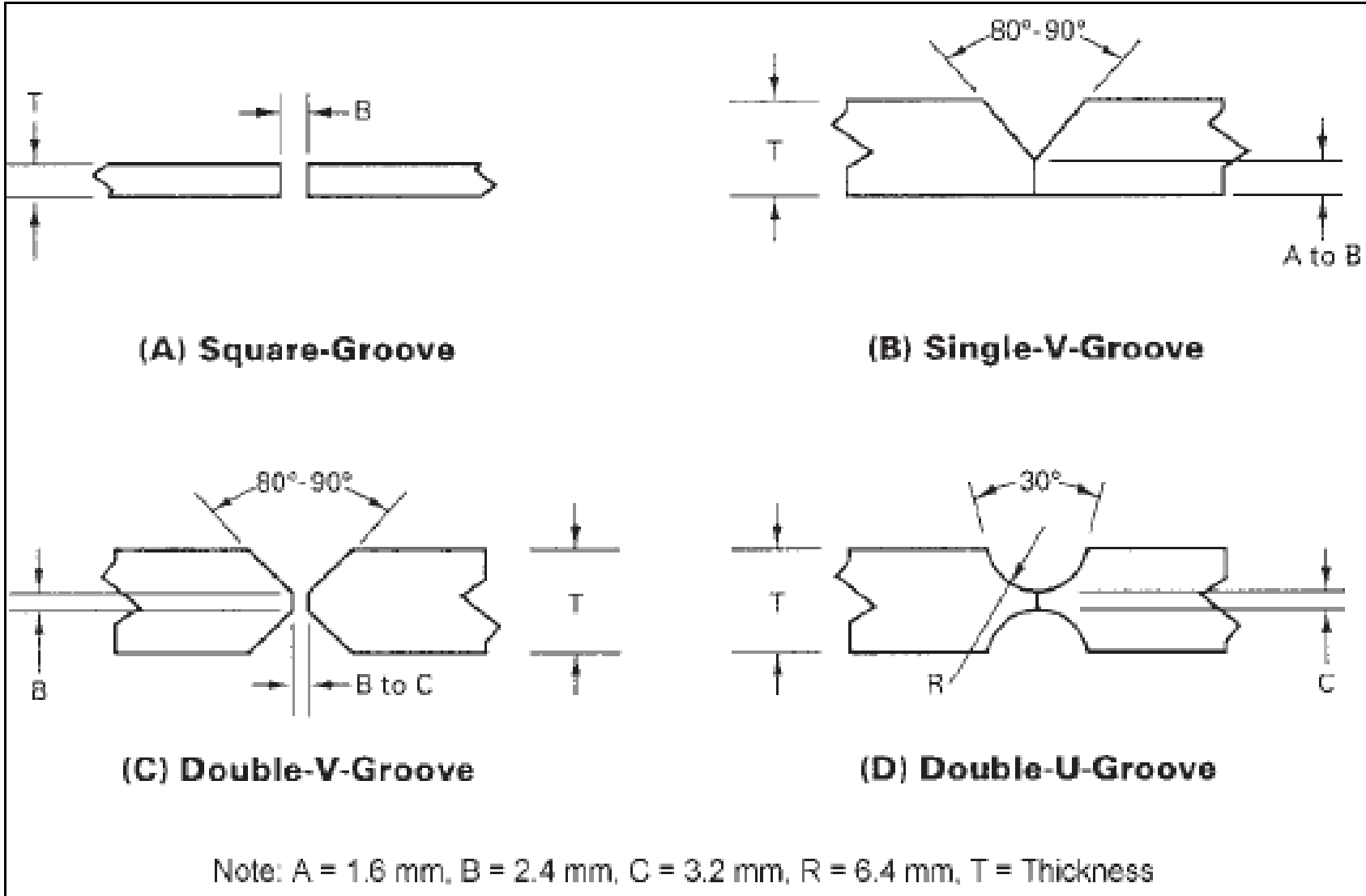
# COBRE

## Soldabilidade – Projeto da Junta GTAW e SMAW



# COBRE

## Soldabilidade – Projeto da Junta - GMAW



# COBRE

## Soldabilidade – Fonte de Potência

GTAW – Fontes DC são usadas com eletrodo de tungstênio contendo tório e argônio como gás de proteção.

Para cobres ao alumínio, a formação de  $Al_2O_3$  pode levar a fusão deficiente da junta. Isto poderá ser contornado pela adoção de corrente alternada e eletrodo de tungstênio puro com proteção de argônio, que confere ação de limpeza.

Outra opção é a adoção de fonte DC com hélio ou misturas hélio-argônio. Hélio produz uma poça de fusão mais fluída e limpa e o risco de aprisionamento de óxidos é reduzida.

# COBRE

## Soldabilidade – Fonte de Potência

GMAW – Fontes DC são usadas com argônio como gás de proteção para a maioria das aplicações. Misturas de 75% Ar + 25% He são usadas quando houver necessidade de união de peças com seção maior, promovendo maior transferência de calor.

A tabela apresenta as condições para a transferência tipo spray na soldagem de cobre e suas ligas.;

Filler metal			Minimum welding current (A)	Arc voltage (V)	Filler wire feed (mm/s)
Common name	AWS class.	Dia. (mm)			
Copper	ERCu	0.9	180	26	146
		1.1	210	25	106
		1.6	310	26	63
Aluminum bronze	ERCuAl-A2	0.9	160	25	125
		1.1	210	25	110
		1.6	280	26	78
Silicon bronze	ERCuSi-A	0.9	165	24	178
		1.1	205	26-27	125
		1.6	270	27-28	80
Cupronickel	ERCuNi	1.6	280	26	74

# COBRE

## Soldabilidade – Peening

Peening pode ser definido como o trabalho mecânico produzido por meio de golpes de impacto. Pode ser feito a partir de golpes de martelo ao metal.

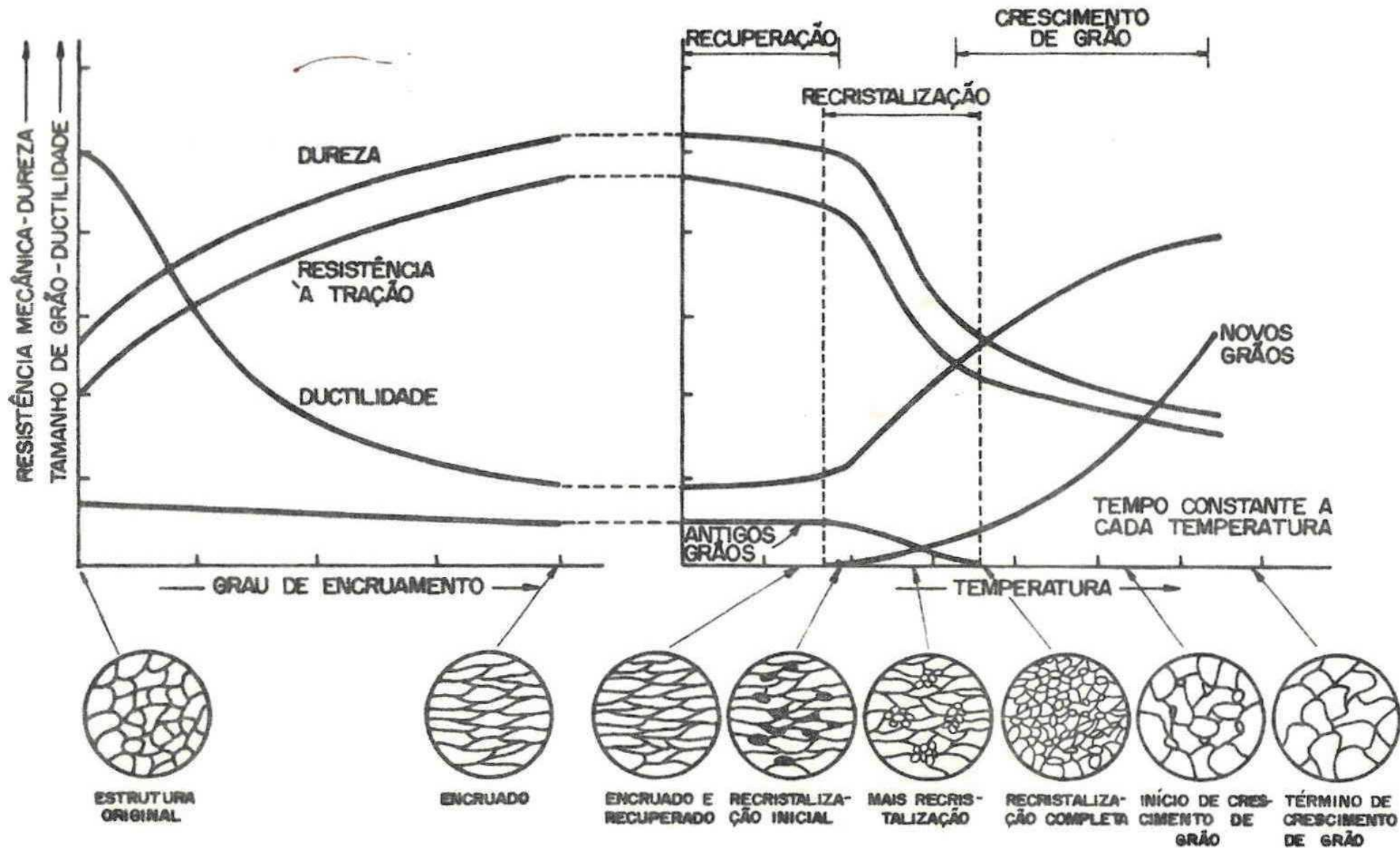
Os golpes podem ser aplicados manualmente com martelos ou pneumáticamente. Os golpes deformam a superfície do metal solidificado, reduzindo as tensões de contração e, como consequência, a tendência ao trincamento.

**A região deformada plasticamente, pode então recristalizar pela ação do calor dos passes subsequentes, induzindo a formação de uma estrutura refinada.**

Para as ligas de cobre, o peening deve ser realizado imediatamente ao final de cada passe enquanto o metal está aquecido e a escória é removida. É realizado com auxílio de martelete arredondado. A força deve ser suficiente para deformar e eliminar as ondulações do cordão, entretanto, não deve causar ruptura.

# COBRE

## Soldabilidade – Peening



# COBRE

## Soldabilidade – Tratamento térmico pós-solda

O tratamento térmico pós-solda envolve: alívio de tensões, recozimento e solubilização e envelhecimento.

Normalmente, o tratamento térmico é necessário se a liga for tratável por solubilização e envelhecimento ou ainda se o ambiente corrosivo puder promover corrosão sob tensão (SCC em ligas Cu-Zn e Cu-Al).

Parâmetros de tratamento térmico de alívio de tensões para soldas susceptíveis a SCC. Tempo mínimo 1h na temperatura, seguido de resfriamento lento. Seções acima de 25,4mm deverão permanecer por mais 1h a cada 25,4mm.

Common name	UNS No.	Temperature	
Red brass	C23000	550°F	288°C
Naval brass	C46400-C46700	500	260
Aluminum bronze	C61400	650	343
Silicon bronze	C65500	650	343
Cupronickel	C70600-C71500	1000	538



# COBRE

## **Soldabilidade – Tratamento térmico pós-solda**

O tratamento térmico pós-solda de solubilização e envelhecimento deverá ser realizado para as ligas que endurecem por este tratamento, sob pena de grandes variações de dureza entre metal base, ZAC e metal de solda, como consequência de sobre-envelhecimento de algumas regiões.

## **Aspectos de segurança na soldagem de cobre e suas ligas**

Alguns elementos de liga apresentam muito baixo valor de limites de exposição permitidos (fumos), dentre eles: o cádmio, arsênio, berílio, cromo, chumbo, manganês e níquel.

Medidas de ventilação e exaustão deverão ser adotadas para evitar a exposição acima dos limites estabelecidos.

Fumos de cobre e zinco e de seus óxidos podem levar a irritação do sistema respiratório, náuseas e febre do fumo metálico. Cádmio e berílio apresentam toxidez elevada.

Higiene antes das refeições e proibição de alimentação no ambiente de trabalho poderá ajudar a prevenir a contaminação.

# COBRE

## Soldabilidade

RESUMO: Fatores que afetam a soldabilidade do cobre:

- Elementos de Liga
- Alta condutividade térmica – seleção de parâmetros e gases em função com intuito de maximizar calor
- Gás de proteção
- Corrente de soldagem (CA, CC+, CC-)
- Projeto da junta
- Posição de soldagem – Fluidéz do metal líquido dificulta soldagem fora de posição (mais fácil para ligas de baixa condutividade)
- Ligas endurecidas por Precipitação – Be, Cr, B, Ni, Si, Zr
- Preferencialmente soldagem no estado recozido e TT após soldagem

# COBRE

## Soldabilidade

Elementos de liga:

- Nos processos de fabricação do cobre e suas ligas, a soldagem a arco é o processo predominante.

Os elementos de liga influenciam na soldabilidade:

- Elementos voláteis/tóxicos – Ex Zn, Be, Cd
- Zn reduz a soldabilidade proporcionalmente a sua quantidade
- Sn eleva susceptibilidade a trincas a quente
- Al, Be, Ni, Cr – formam óxidos refratários que devem ser removidos antes da soldagem
- Si – efeito benéfico de desoxidação (Ligas Cu-Si melhor soldabilidade)
- O, H – Ocorrência de porosidade
- Fe e Si – Não afetam a soldabilidade
- Pb, Te, Se – Pioram a soldabilidade

# COBRE

## Soldabilidade

Principais Problemas na soldagem de cobre e suas ligas:

### - Trincas de solidificação

Ocorre em ligas de cobre, Cobre-Sn e Cobre-Ni

Susceptibilidade ligada a grandes intervalos de solidificação

Pode ser minimizada com: Diminuição de restrição, menores taxas de resfriamento (Ex pré aquecimento), redução da abertura de raiz e maiores passes de raiz

### - Trincas de liquação

### - Degradação das propriedades da ZAC (perda de ductilidade)

### - Porosidade

Elementos de liga com baixa temperatura de ebulição (Ex. Zn, Cd, P) e graxas, tintas e marcas de lápis podem fragilizar material

### - Fumos tóxicos

# COBRE



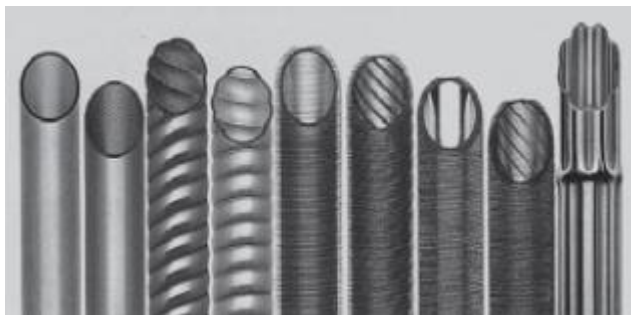
## Principais Aplicações

### Indústria Elétrica

- Fios de transmissão de energia
- Cabos bimetálicos
- Arames de enrolamento



### Tubos de trocadores de calor



### Buchas e Mancais



# COBRE

## Principais Aplicações

Tubulações

Tanques de armazenamento

Reservatórios de produtos químicos

Equipamentos na Indústria Alimentícia

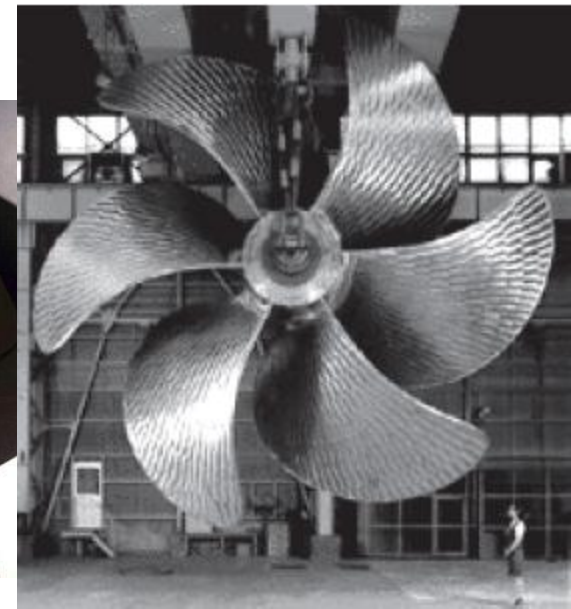
Componentes de Navios (hélices)

## bronze ao alumínio

Alta Resistência Mecânica

Alta Resist. Corrosão

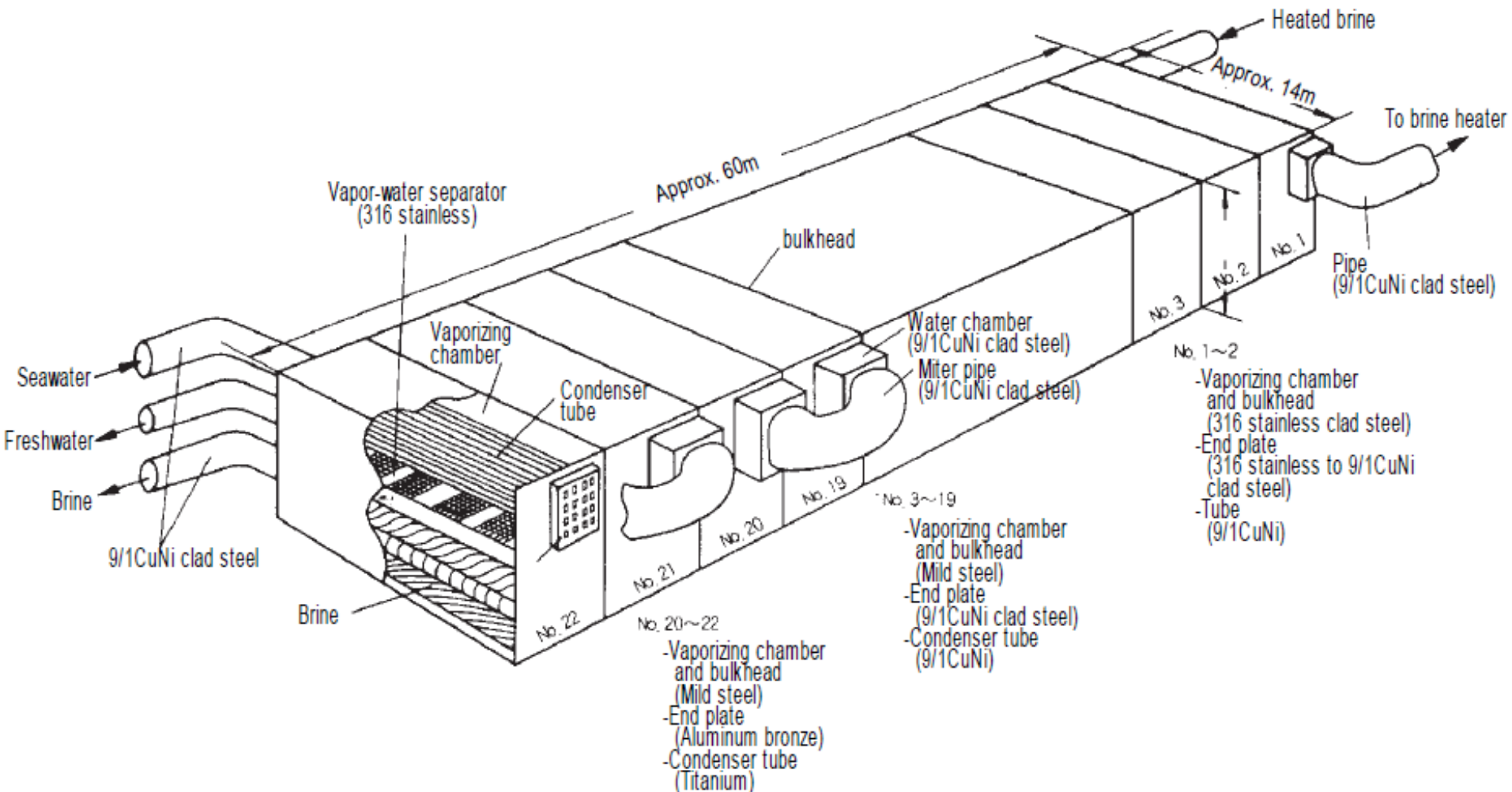
Resist. Cavitação em  
água do mar.



# COBRE

## Principais Aplicações

Unidades de desalinização da água do mar (cupro-níqueis)



# COBRE

## Principais Aplicações

Unidades de desalinização da água do mar (cupro-níqueis)





# COBRE

## Propriedades e Aplicações

Nome	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
				Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
<b>LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO</b>							
ETP	C11000	0,04 Oxig	Recozido	220	69	45	Fio electrico, rebites, juntas, painéis, pregos, tectos falsos, decoração
Cobre-Berílio	C17200	1.9Be,0.2Co	Envelhecido	1140-1310	690-860	4-10	Instrumentos cirúrgicos e dentários, molas, válvulas, diafragmas, electodos não consumíveis
Latão de cartuchos	C26000	30Zn	Recozido	300	75	68	Radiadores de automóveis, componentes de munições, casquilhos de lâmpadas, envólucros de lanternas
			Def.frio (H04)	525	435	8	
Bronze fosforoso	C51000	5Sn, 0.2P	Recozido	325	130	64	Discos de embraiagem, diafragmas, fusíveis, molas
			Def.frio (H04)	560	19	10	
Cupro-níquel	C71500	30Ni	Recozido	380	125	36	Condensadores e permutadores de calor, tubagens água salgada
			Def.frio (H02)	515	485	15	
<b>LIGAS DE FUNDIÇÃO</b>							
Latão amarelo	C85400	29Zn, 3Pb, 1Sn	-----	234	83	35	Mobiliário, apoios de radiadores, iluminação
Bronze chumbo	C90500	10Sn, 2Zn	-----	310	152	25	Apoios, juntas, segmentos, chumaceiras, engrenagens
Bronze alumínio	C95400	4Fe, 11Al	-----	586	241	18	Apoios, engrenagens, parafusos sem-fim, juntas de válvulas

COBRE LIGADO  
ou ligas de cobre

FORMAS

APLICAÇÕES TÍPICAS

COBRE-PRATA (C 11300)	todas (exceto tubos)	componentes de radiadores, contatos elétricos
COBRE-CROMO (C 18200)	barras, tiras, tubos	eletrodos de máquinas de soldagem por resistência elétrica
COBRE-TELÚRIO (C 14500)	barras, perfis, tiras	conectores e terminais fabricados em quantidade
COBRE-CÁDIMO (C 14300)	tiras	contatos e terminais resistentes ao amolecimento
COBRE-ZIRCÔNIO (C 15000)	barras, arames	bases e comutadores para altas temperaturas
LATÃO 95-5 (C 21000)	barras, chapas	recipientes estampados e peças cunhadas
LATÃO 70-30 (C 26000)	chapas, barras, perfis, tubos, arames	peças embutidas, tubulações e conexões, componentes de radiadores
LATÃO 60-40 (C 28000)	chapas, barras, tubos	parafusos e válvulas, tubos de trocadores de calor, arame de brasagem
BRONZE 92-8 (C 52100)	chapas, barras, arames	diafragmas, molas, mancais
BRONZE 40-10 (C 52400)	chapas, barras, arames	idem bronze 92-8, maior resistência
COBRE-NÍQUEL 90-10 (C 70600)	chapas, barras, tubos	condensadores, destiladores, evaporadores, trocadores de calor
ALPACA 65-10-25 (C 74500)	chapas, barras, arames	partes de aparelhos ópticos
COBRE-ALUMÍNIO 95-5 (C 60600)	chapas, barras, perfis	estampadas e usinadas de aparência dourada
COBRE-SILÍCIO 98.5-1.5 (C 65100)	chapas, barras, perfis, tubos, arames	linhas de circuitos hidráulicos, componentes de construção naval
COBRE-BERÍLIO 98-2 (C 17000)	tiras, barras, perfis	partes de reles e de dispositivos elétricos e eletrônicos

# Produtos Fundidos

## GRUPOS DE LIGAS DE COBRE

## APLICAÇÕES TÍPICAS

COBRE (C 81100)

peças para condução elétrica ou térmica, resistência à corrosão

LIGAS COBRE-BERÍLIO, COBRE-CROMO E  
COBRE-COBALTO (C 81400, C 81800 E C 82400)

peças para condução elétrica ou térmica e de alta resistência mecânica  
como: eletrodos de soldagem elétrica, moldes e tambores de freios

LIGAS COBRE-ZINCO-ESTANHO-CHUMBO  
(LATÃO COM ESTANHO E CHUMBO)  
(C 83.600, C 84400, C 84800, C 85400, C 85800)

peças em geral fundidas em ligas de cobre como: válvulas, conexões,  
engrenagens, buchas e partes ornamentais

LIGAS COBRE-ZINCO COMO OUTROS ELEMENTOS  
(LATÕES DE ALTA RESISTÊNCIA)  
(C 86300, C 86500, C 87200, C 87500)

peças em geral fundidas, de resistência mecânica elevada como:  
engrenagens, mancais, aletas, hélices, válvulas e partes ornamentais

LIGAS COBRE-ESTANHO  
(BRONZES COM ZINCO E/OU CHUMBO)  
(C 90300, C 92200, C 93700, C 94300)

mancais, buchas, anéis de fricção, engrenagens e outros componentes  
de uso com a presença de atrito

LIGAS COBRE-ALUMÍNIO  
(C 95300, C 95800)

cestos para decapagem, peças de uso naval, ferramentas antifaiscantes

LIGAS COBRE-NÍQUEL-ZINCO  
(ALPACAS)  
(C 97600, C 97800)

peças de uso naval, conexões sanitárias, peças ornamentais

LIGAS COBRE-NÍQUEL  
(C 96400)

peças de uso naval como componentes de bombas hidráulicas