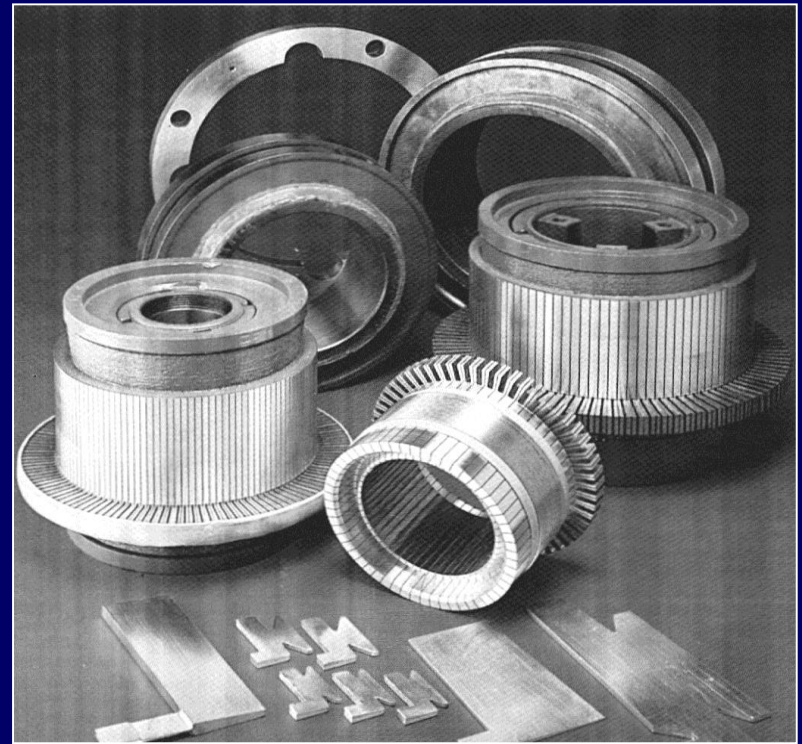


LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS

- Usadas em geral para:
 - Resistência à corrosão
 - Resistência ao desgaste
 - Cond. eléctrica
 - Peso reduzido (algumas)
 - Resistência a altas temperaturas (outras)
 - Boas resistência e rigidez específicas

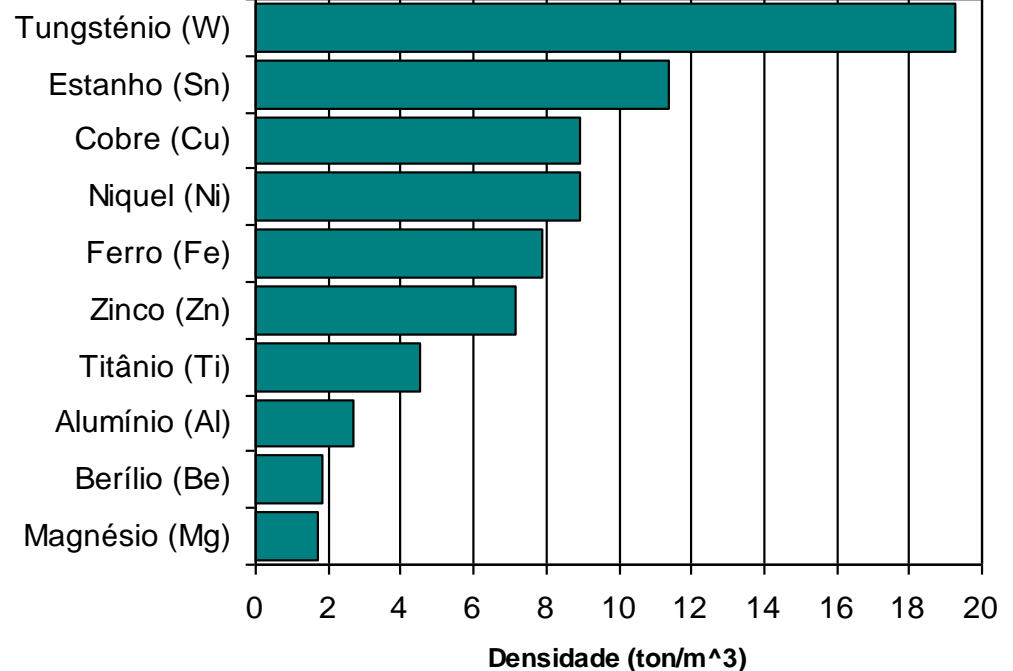


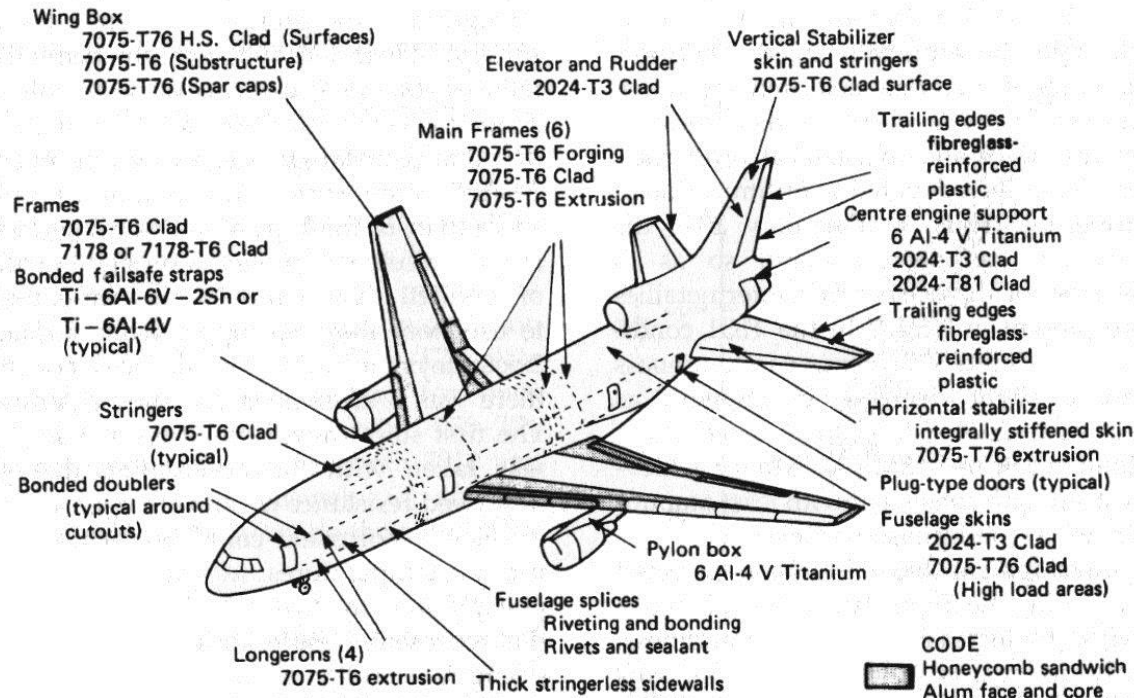
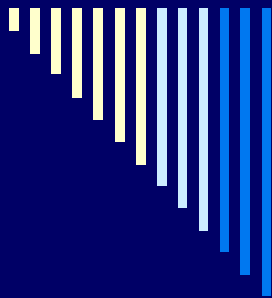
LIGAS NÃO FERROSAS



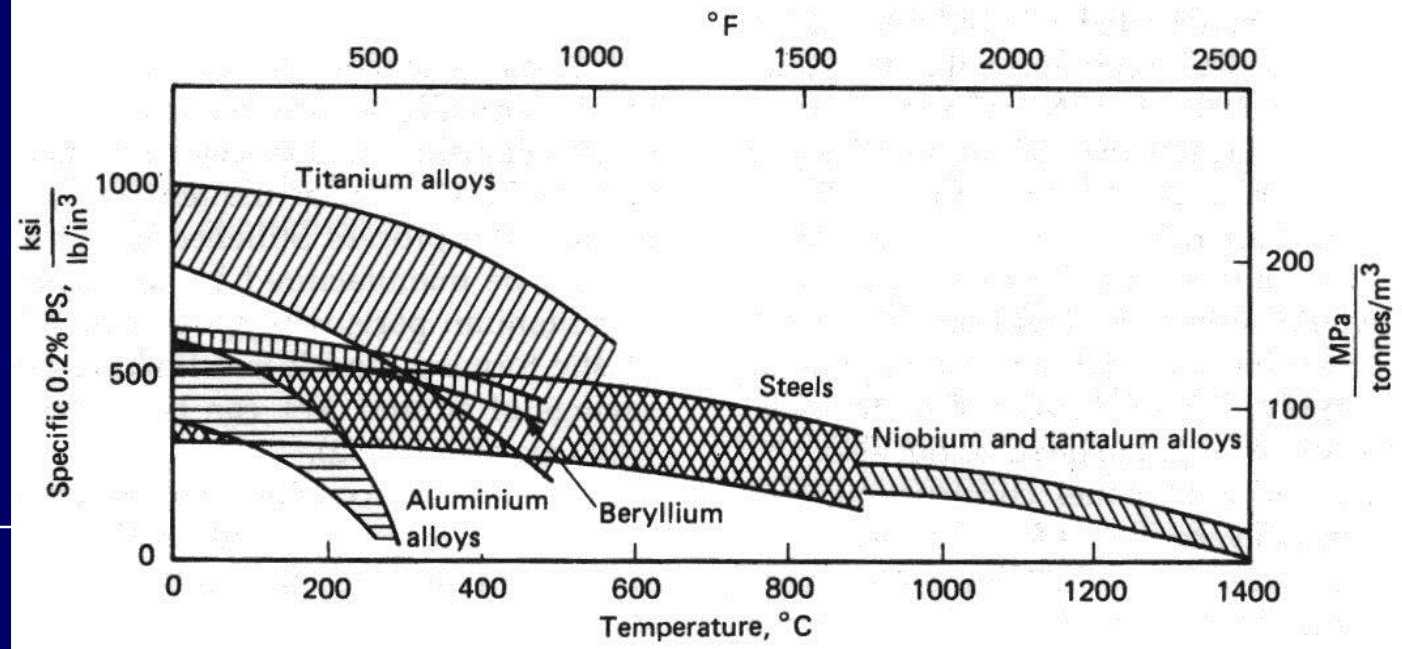
LIGAS NÃO FERROSAS (GENERALIDADES)

- Em geral mais caras que as ligas ferrosas
- Usadas para aplicações específicas:
 - Resistência à corrosão (Cu, Ni, Al)
 - Alta condutividade (Cu, Al)
 - Baixo peso (Al, Mg, Ti)
 - Resistência a altas temperaturas (Ni, intermetálicos AlNi, NbAl)
- Utilização desde utensílios domésticos até aplicações aeroespaciais





L1011 basic materials and design features.



LIGAS DE ALUMÍNIO

GENERALIDADES

- O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre
- O seu processamento é caro, tendo restringido a sua aplicação até meados do século, mas é um dos materiais mais usados actualmente
- Forma ligas com Mn, Cu, Mg, Si, Fe, Ni, Li, etc
- Algumas ligas possuem resistência mecânica superior aos aços estruturais

TRATAMENTOS

- Recozimentos
- Endurecimento por precipitação e envelhecimento, apenas em algumas ligas
- Endurecimento por deformação plástica a frio (encruamento)

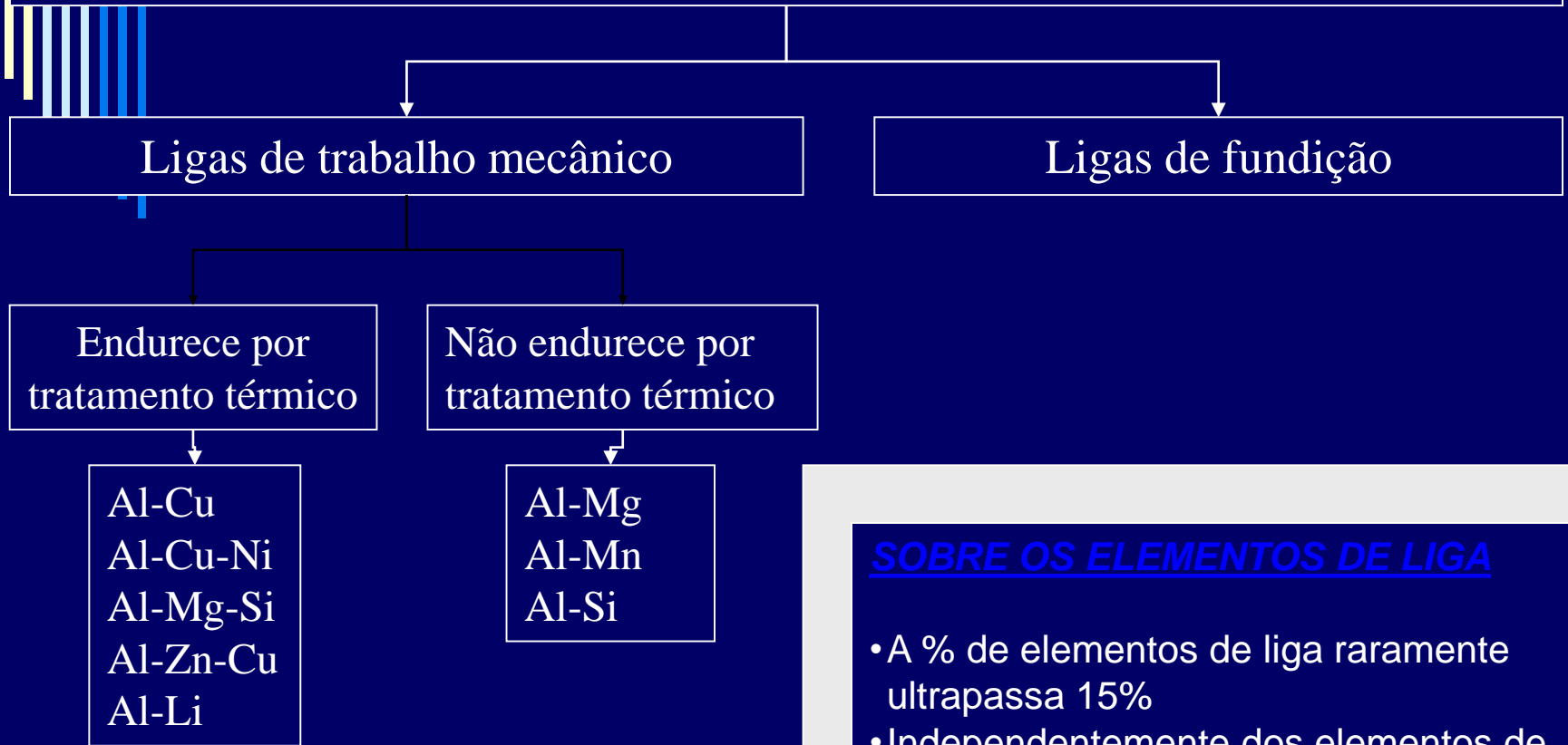
PROPRIEDADES

- Baixa densidade (1/3 do aço)
- Boa condut. térmica e eléctrica
- Elevada resistência específica
- Grande ductilidade
- Fácil maquinação, fundição, soldadura e processamento em geral
- Boa resist. à corrosão
- Custo moderado

APLICAÇÕES

- Construção civil e arquitectura
- Embalagens e contentores
- Aeronáutica e aeroespacial
- Indústrias automóvel, ferroviária e naval
- Condutores eléctricos alta voltagem
- Utensílios de cozinha
- Ferramentas portáteis

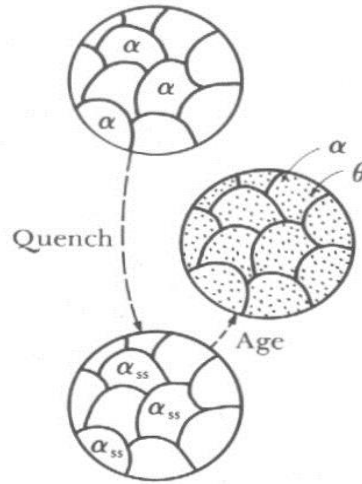
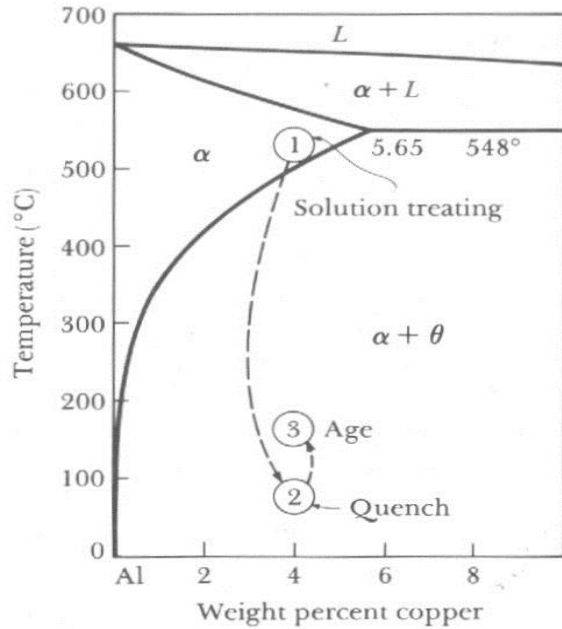
LIGAS DE ALUMÍNIO



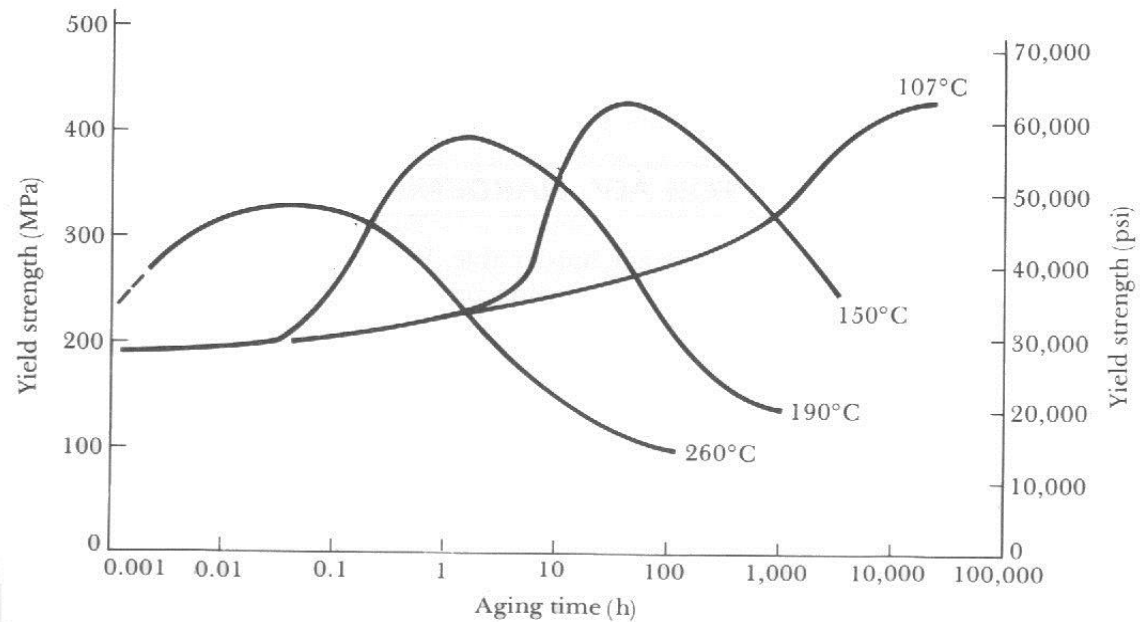
SOBRE OS ELEMENTOS DE LIGA

- A % de elementos de liga raramente ultrapassa 15%
- Independentemente dos elementos de liga, os diagramas de fases são muito idênticos
- Aumento de resistência por solução sólida – adicionar Mg, Fe, Mn
- Aumento de usinabilidade – Cu
- Aumento de resistência corrosão – Si
- Aumento fluidez de fundição – Mn, Si

LIGAS DE ALUMÍNIO



Tratamento de endurecimento por precipitação, ou envelhecimento



NOMENCLATURA DAS LIGAS DE ALUMÍNIO (ALUMINIUM ASSOCIATION)

LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO

- Consiste em 4 dígitos. O primeiro define o principal elemento de liga
 - 1xxx – Alumínio puro (99%)
 - 2xxx – Ligas com Cu
 - 3xxx – Ligas com Mn
 - 4xxx – Ligas com Si
 - 5xxx – Ligas com Mg
 - 6xxx – Ligas com Mg e Si
 - 7xxx – Ligas com Zn
 - 8xxx – Outros elementos (Li...)

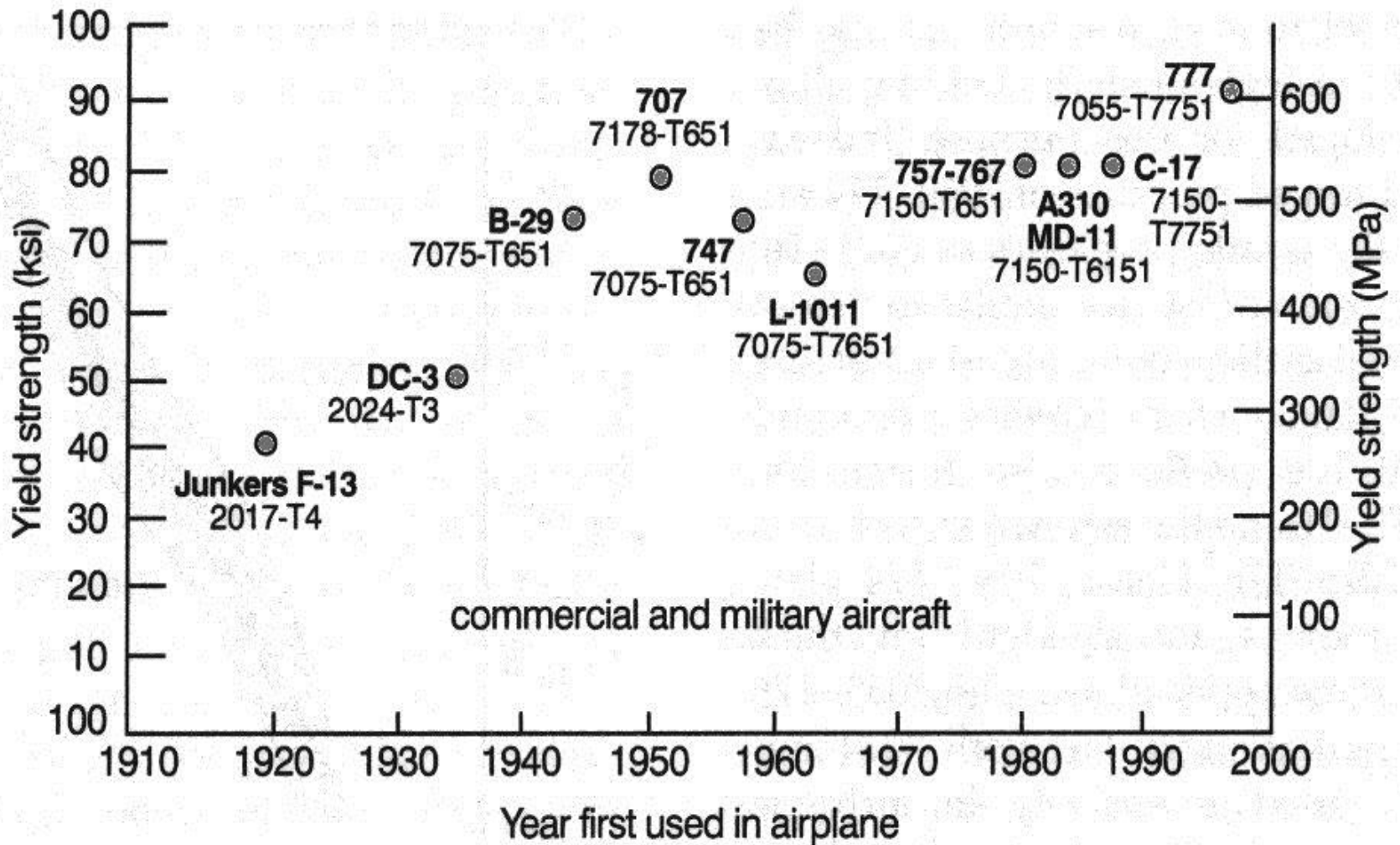
LIGAS DE FUNDIÇÃO

- Consiste em 4 dígitos. O primeiro define o principal elemento de liga
 - 1xx.x – Alumínio puro (99,5%)
 - 2xx.x – Ligas com Cu
 - 3xx.x – Ligas com Si+Cu ou Mg
 - 4xx.x – Ligas com Si
 - 5xx.x – Ligas com Mg
 - 7xx.x – Ligas com Zn
 - 8xx.x – Ligas com Sn

SUFIXOS

- Uma letra seguida de um ou mais algarismos, definindo a condição final
- F – sem controle, como fabricado
- W – tratamento de dissolução
- O – recozido (trab. mecânico)
- Hxy – deformado a frio (idem)
 - x=1 – deformação a frio simples
 - x=2 – parcialmente recozido
 - x=3 – estabilizado por trat. térmico a baixa temperatura
 - y=8,6,4 ou 2 – total. endurecido, 3/4, 1/2 ou 1/4 endurecido
- Twz – tratado termicamente
 - 1-Envelhecido naturalmente
 - 2-Recozido (fundição apenas)
 - 3-Dissolução e def. a frio
 - 4- Dissolução e envelhec. natural
 - 5-Envelhecido em forno
 - 6-Dissolução e envelhec. forno
 - 7-Dissolução e estabilização
 - 8-Dissolução, def. frio e envelhec. em forno
 - 9- Dissolução, envelhec. forno e def. a frio...

LIGAS DE ALUMÍNIO



LIGAS DE ALUMÍNIO

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - NÃO TRATÁVEIS										
1100	A	C-D	A	A91100	0.12Cu	Recozido(O)	90	35	35-45	Alimentos, produtos químicos, permutadores de calor, reflectores de luz
3003	A	C-D	A	A93003	0.12Cu, 1.2Mn,0.1Zn	Recozido(O)	110	40	30-40	Utensílios culinários, reservatórios de pressão e tubagens, latas de bebidas
5052	A	C-D	A	A95052	2.5Mg, 0.25Cr	Def. Frio (H32)	230	195	12-18	Tubagens de óleo e combustível em aeronaves, tanques de combustível, rebites, arame
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE										
2024	C	B-C	B-C	A92024	4,4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Tratado termic. (T4)	470	325	20	Estruturas aeronauticas, rebites, jantes de camião, parafusos
6061	B	C-D	A	A96061	1.0Mg, 0.6Si, 0.3Cu	Tratado termic. (T4)	240	145	22-25	Camiões, canoas, automóveis, mobiliário, tubagens
7075	C	B-D	D	A97075	5.6Zn,2.5Mg, 1.6Cu,0.23Cr	Tratado termic. (T6)	570	505	11	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento
LIGAS DE FUNDIÇÃO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE										
295.0				A02950	4.5Cu, 1.1Si	Tratado termic. (T4)	221	110	8,5	Volantes, jantes de camiões e aviões, carters
356.0				A03560	7.0Si, 0.3Mg	Tratado termic. (T6)	228	164	3,5	Caixas de transmissão, blocos de motor
LIGAS DE LÍTIO										
2090				---	2.7Cu,0.25Mg 2.25Li,0.12Zr	Trat. termic. e def. frio (T83)	455	455	5	Estruturas aeronauticas e de tanques criogénicos
8090				---	1.3Cu,0.95Mg 2.0Li,0.1Zr	Trat. termic. e def. frio (T651)	465	360	---	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento

A= Excelente, D= fraco

LIGAS DE MAGNÉSIO

GENERALIDADES

- Mais leve dos metais estruturais
- 3º metal mais abundante na crosta
- Competidor ligas de Al e das de Cu
- Processamento caro
- Fraco em estado puro, bom quando forma ligas com Al, Zn, Mn, Th, Ce...

APLICAÇÕES

- 50% - elemento de liga no Alumínio
- 21% - Ligas de Magnésio
- 12% - desulfurante e desoxidante
- Quase todas de peças fundidas
- Blocos de motor, volantes, apoios de assento, coluna de direcção
- Raquetes, patins, tacos de golf, bastões de baseball, bicicletas
- Componentes vários de aviação
- Ânodo de sacrifício de navios

PROPRIEDADES

- Alta resistência específica
- Baixa ductilidade
- Baixo ponto de fusão=>fundição
- Boa maquinabilidade alta velocidade
- Soldável
- Boa resistência à corrosão
- Boa resistência à fadiga
- Alta resistência ao impacto
- Inflamável – cuidado na maquinação

TRATAMENTOS

- Endurecimento por precipitação
- Reozimentos
- Endurec. por deformação plástica possível, mas em pequeno grau

LIGAS DE MAGNÉSIO

(MAGNESIUM ASSOCIATION, USA)

NOMENCLATURA

(MAGNESIUM ASSOCIATION, USA)

- 2 letras indicando os dois principais elementos de liga (ord. crescente)
- 2 ou 3 algarismos indicando as percentagens x10
- 1 letra indica ordem standardização
- Sufixos semelhantes às ligas de Al

SISTEMAS BINÁRIOS PRINCIPAIS

- Mg – Al
 - Mg-Al-Mn - AMxx
 - Mg-Al-Zn - AZxx
- Mg – Zn
 - Mg-Zn-Zr - ZKxx
 - Mg-Zn-Th - ZHxx
- Mg – Terra rara
 - Mg-t.r.-Zr - EKxx
 - Mg-t.r.-Zn - EZxx
- Mg – Th
 - Mg-Th-Zr - HKxx
 - Mg-Th-Zn - HZxx

LETRAS E ELEMENTOS DE LIGA

Alumínio – A	Manganês – M
Bismuto – B	Níquel – N
Cobre – C	Chumbo – P
Cádmio – D	Prata – Q
Terra rara – E	Crómio – R
Ferro – F	Silício – S
Tório – H	Estanho – T
Zircónio – K	Zinco – Z
Berílio – L	

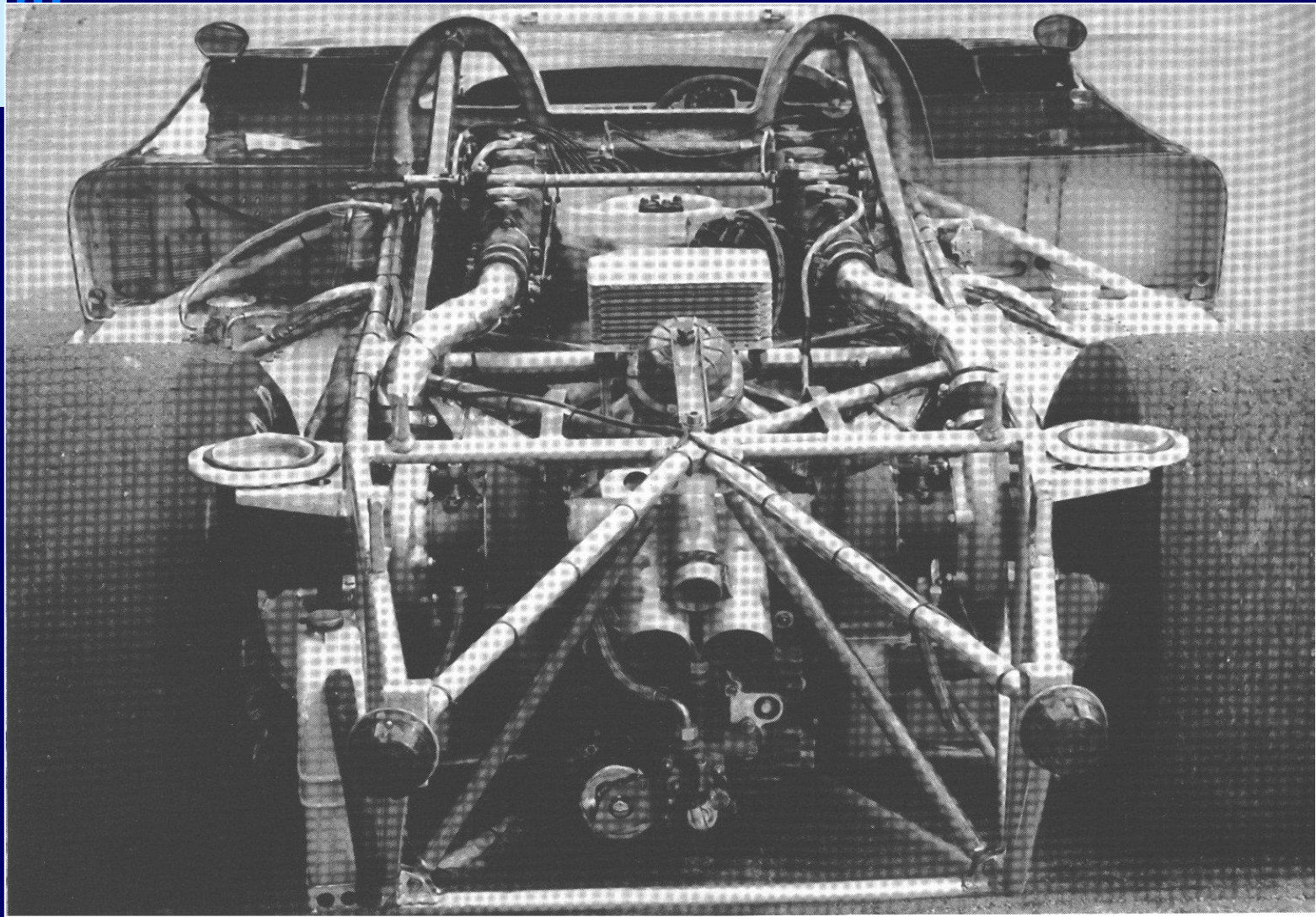
SOBRE OS ELEMENTOS DE LIGA

- Aumento de resistência sempre por solução sólida
- Independente/ dos elementos de liga, os diagramas de fases são idênticos
- Adição de Al seguido de endurec. precipitação - aumento de resist.
- Refinar o tamanho de grão – Zr
- Aumento de resist. corrosão – Mn
- Aumento resist. mecânica e fluência – Th, Ce

LIGAS DE MAGNÉSIO

ASTM	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
				Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO							
AZ80A	M11800	8.5Al, 0.5Zn, 0.12Mn		340	250	11	Elementos estruturais, peças forjadas
HK31A	M13310	3.0Th, 0.6Zr	Def. frio e parcialmente recozido	255	200	9	Elementos estruturais com boa resistência até 315°C
ZK60A	M16600	5.5Zn, 0.45Zr	Envelhecido artificialmente	350	285	11	Peças forjadas de grande resistência para aeronaves
LIGAS DE FUNDIÇÃO							
AM60A	M10600	6.0Al, 0.13Mn		220	130	6	Jantes de automóveis
EZ33A	M12330	2.7Zn, 0.6Zr, 3.3Terr. raras	Envelhecido artificialmente	160	110	3	Peças fundidas para utilização até 260°C
AZ91A	M11910	9.0Al, 0.13Mn,0.7Zn		230	150	3	Peças para automóveis, cortavelva e malas de viagem

LIGAS DE MAGNÉSIO



Porsche 917 com estrutura tubular em Magnésio – poupança de 15kg em relação ao Al

LIGAS DE TITÂNIO

GENERALIDADES

- Metal mais recente (a partir de '50)
- Abundante – custo elevado de proc.
- Possui uma transformação alotrópica
Fase α *880°C*Fase β
- Fase α – HC – pouco dúctil
- Fase β – CCC – muito dúctil
- Formação ligas afecta significativa/
as propriedades (Temp. de transf.
alotrópica, endurecimento por
solução sólida)
- Ligas com Al, Sn, V, Mo, Nb, Mn, Cr,
Fe, Co, Ta

TRATAMENTOS

- Reozimentos
- Algumas ligas permitem tratamento
térmico de envelhecimento

PROPRIEDADES

- Baixa densidade (4.5ton/m³)
- Alto ponto de fusão (1668°C)
- Grande resistência mecânica
- Grande resistência específica
- Excelente resistência corrosão
abaixo de 550°C
- Acima de 550°C tem baixa resist
corrosão e à fluência

APLICAÇÕES

- Devido à grande resist. específica:
 - Aeronáutica e aeroespacial
 - Motores a jacto (estrut. e compon.)
 - Pás e discos de turbinas
 - Viaturas competição e artigos
desportivos em geral
- Devido à grande resist. corrosão:
 - Processamento químico
 - Submersíveis
 - **Implantes biomédicos**
 - Permutadores de calor

LIGAS DE TITÂNIO

Ti puro

- Excelente resistência à corrosão
- Alguma ductilidade (apesar de ser HC)
- Baixa resistência mecânica

Ligas α

Al, O, N, H, Ga

- Ligas não endurecem por T.T. – endurecimento por solução sólida
- Al principal elemento de liga – até 5~6%
- Resistência moderada a alta temperatura
- Boas tenacidade, resistência fluência, soldabilidade

Ligas quase α

V, Mo (peq. quant.)

- Alguma fase β numa microestrutura essencialmente α
- Adiciona-se Sn e Zr para manter a resistência diminuindo o Al
- Altas resistência mecânica, tenacidade, resistência fluência, soldabilidade
- Resistência aumentada com envelhecimento (=> menor resistência corrosão)

Ligas α - β

(ou duplex)

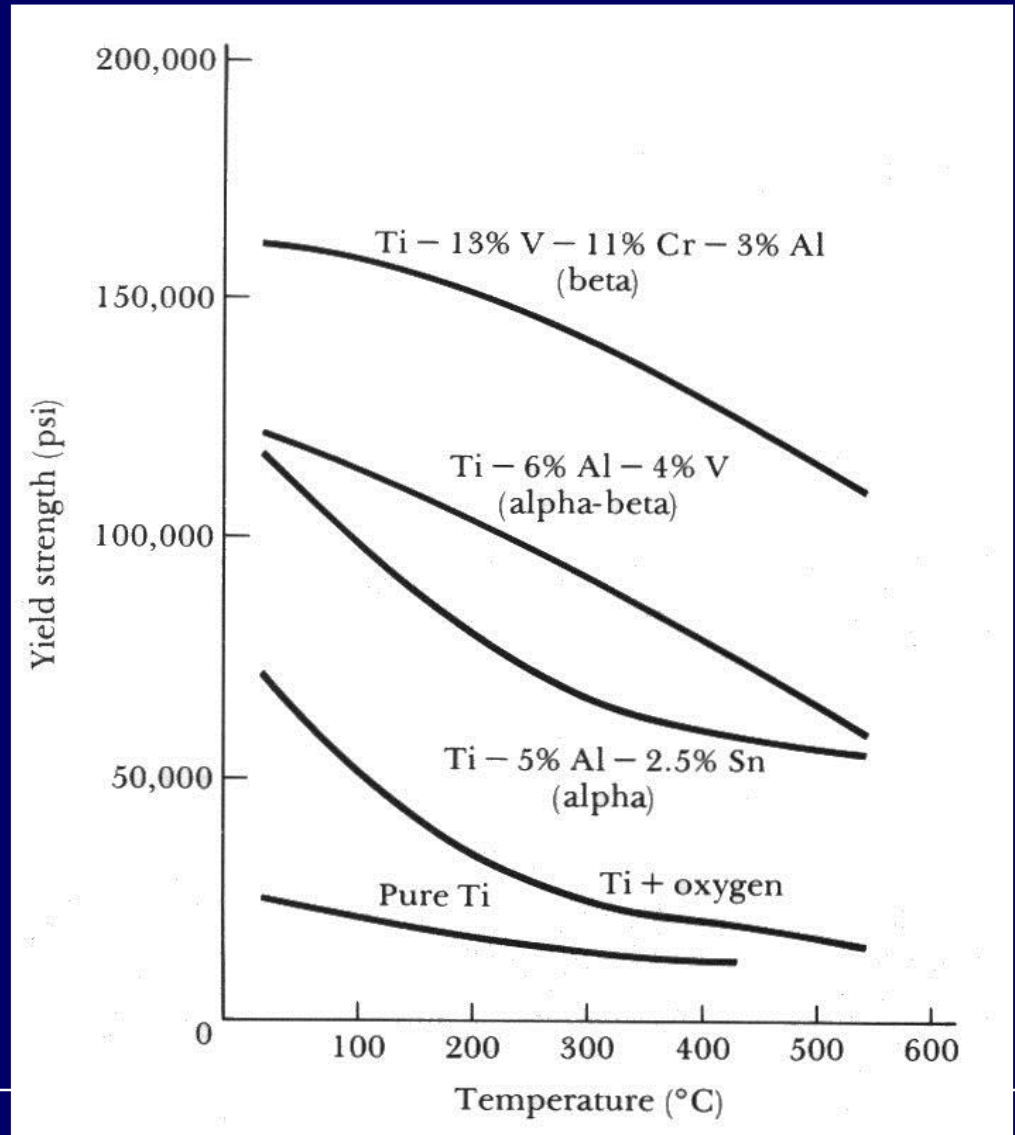
- Balanço conveniente de elementos => Microestrutura bifásica
- Os tratamentos térmicos controlam microestrutura e propriedades

Ligas β

V, Mo, Nb, Cr, Fe, Ta

- Grande adição de V e Mo => β à temp ambiente (não é usual)
- Estrutura β obtida com tratamento de envelhecimento
- Grande ductilidade – fácil deformação a frio
- São soldáveis
- Ligas mais pesadas

LIGAS DE TITÂNIO



LIGAS DE TITÂNIO

<i>Tipo de liga</i>	<i>Comum (UNS)</i>	<i>Composição</i>	<i>Condição</i>	Propriedades mecânicas			<i>Aplicações/Características</i>
				<i>Rotura (MPa)</i>	<i>Cedência (MPa)</i>	<i>Extensão Rot. (%)</i>	
Comercial/ Puro	(R50500)	99.1Ti	Recozido	517	448	25	Blindagem de motores jacto, Cascas de aeronaves, equipamento resist à corrosão em navios e ind química
a	Ti-5Al-2.5Sn (R54520)	5.0Al, 2.5Sn	Recozido	862	807	16	Caixas de turbinas de gás, equipamento químico com resistência mecânica até 480°C
Quase a	Ti-8Al-1Mo-1V (R54810)	8.0Al, 1.0Mo, 1.0V	Recozido (duplex)	1000	951	15	Peças forjadas para motores a jacto (discos de compressor, cubos, etc)
a - b	Ti-6Al-4V (R56400)	6.0Al, 4.0V	Recozido	993	924	14	Implantes de elevada resistência, processamento químico, componentes estruturais de aeronaves
a - b	Ti-6Al-6V-2Sn (R56620)	6.0Al, 2.0Sn, 6.0V, 0.75Cu	Recozido	1069	1000	14	Componentes estruturais de alta resistência em aeronaves
b	Ti-10V-2Fe-3Al	10.0V, 2.0Fe, 3.0Al	Dissolução e envelhec.	1276	1200	10	Melhor combinação de resistência e ductilidade, aplicações com uniformidade de propriedades em toda a peça, componentes estruturais de aeronaves

LIGAS DE BERÍLIO

GENERALIDADES

- Material de grandes contrastes
- Extremamente reactivo e sensível a impurezas
- Grande afinidade com o Oxigénio, formando BeO tóxico
- Custo elevado
- Única liga com aplicação comercial é a liga Lockalloy (62Be-38Al)

PROPRIEDADES

- Alta rigidez estado puro (303GPa)
- Rigidez específica superior ao Al, Mg e Ti
- Temperatura fusão próxima do aço
- Ausência de ductilidade à T. amb
- Grande ductilidade a 400°C (50%)
- Fraca soldabilidade
- Maquinagem difícil
- Excelente estabilidade dimensional

TRATAMENTOS

- Como praticamente não forma ligas também não pode sofrer tratamentos térmicos
- A sua fraca ductilidade não permite o encruamento, logo também não necessita de recozimentos

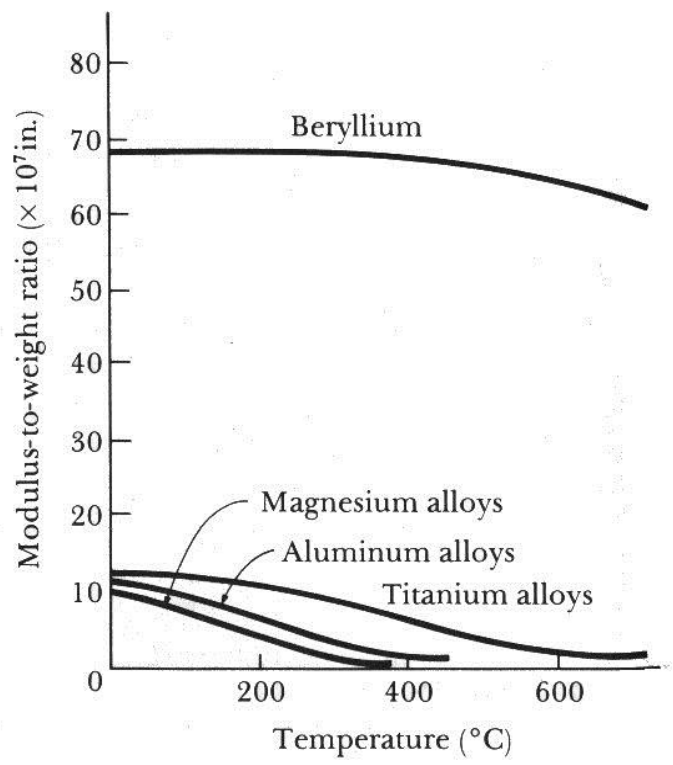
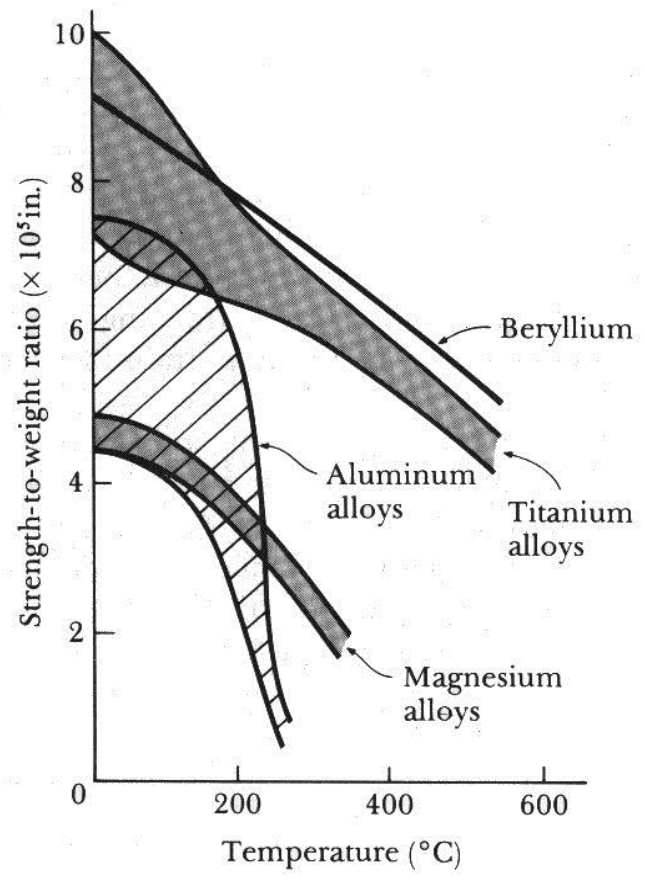
APLICAÇÕES

- Be puro é usado em armamento, pontas de mísseis, tubagens estruturais, componentes ópticos e instrumentos de precisão
- Ligado com Al, é usado em aeronaves e satélites e maxilas de travão em automóveis de compet.

LIGAS DE BERÍLIO

Grau	Componentes		Impurezas, max (ppm)						Propriedades mecânicas			Aplicações/Características		
	Be, min	BeO, max	Al	C	Fe	Mg	Si	Outros	Rotura (MPa)	Ceden. (MPa)	Ext.Rot (%)			
GRAUS ESTRUTURAIS														
S-65B	99,0	0,7	600	1000	800	600	600	400	290	207	3			
S-200F	98,5	1,5	1000	1500	1300	800	600	400	325	240	2	Pode ser usado até 600°C, possuindo cedência a 100MPa		
GRAUS DE INSTRUMENTAÇÃO E ÓPTICA														
I-70A	99,0	0,7	700	700	1000	700	700	400				Instrumentação óptica de satélites		
0-50	99,0	0,5	700	700	1000	700	700	400				Instrumentação óptica por infravermelhos de satélites GPS		
I-220B	98,0	2,2	1000	1500	1500	800	800	400				Desenvolvidos para aplicação a sistemas de elevada precisão geométrica e grande resistência à deformação plástica.		
I-400B	94,0	4,3	1600	2500	2500	800	800	400						
OUTRAS LIGAS														
Liga	Be	Al							E (GPa)	Dens. (ton/m ³)	Rotura (MPa)	Ceden. (MPa)	Ext.Rot (%)	Aplicações/Características
Lockalloy	62	38							200	2,1	380	290	5 - 7	Aviônica, aeronaves e satélites, maxilas de travão em automóveis de competição

LIGAS DE BERÍLIO





LIGAS DE COBRE

GENERALIDADES

- Dos primeiros metais usados
- 3-4 vezes mais caro que o Al e 6-7 vezes mais caro que o aço-carbono
- Forma ligas c/ Sn, Zn, Al, Be, Ni, Si
- Existem 3 grupos básicos de ligas
 - *Latões*: ligas Cu-Zn (existem ainda os latões de chumbo, Cu-Zn-Pb, de estanho, Cu-Zn-Sn...
 - *Bronzes*: ligas Cu-Sn (existem ainda os bronzes de alumínio, Cu-Al, de silício, Cu-Si, de berílio, Cu-Be)
 - *Cuproníqueis*: ligas de Cu-Ni

TRATAMENTOS

- Todas as ligas podem sofrer encruamento
- Algumas ligas podem ser tratadas por envelhecimento

PROPRIEDADES

- Excelente condutibilidade eléctrica
- Elevada condutibilidade térmica
- Elevada resistência à corrosão
- Algumas ligas podem atingir resistência elevada
- Resist específica inferior ao aço e Al
- Resist/custo inferior ao aço e Al

APLICAÇÕES

- 70-80% de uso no estado puro
- Coloração boa para arquitectura, decoração e joalheria
- A boa resistência à corrosão leva a aplicações na indústria naval
- Tem as mais variadas aplicações em todo o tipo de indústria...

NOMENCLATURA DAS LIGAS DE COBRE

LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO E DE FUNDIÇÃO

- A mais comum é a designação UNS
- Começa com a letra “C” seguida de 5 algarismos sem significado em termos de composição química ou resistência
- Os algarismos destinam-se apenas a distinguir as diferentes ligas existentes

SUFIXOS

- Destinam-se a especificar a condição final da liga – tipo de tratamento ou % de encruamento

Selected temper designations from ASTM B 601 temper designations for copper and copper alloys

Cold-worked tempers

H 01	1/9 hard
H 02	1/2 hard
H 03	3/9 hard
H 04	hard

Cold-worked and stress relieved

HR 01	H 01 + stress relief
HR 02	H 01 + stress relief
HR 03	H 01 + stress relief
HR 04	H 01 + stress relief

As-manufactured tempers

M 01	as sand cast
M 06	as investment cast
M 07	as continuous cast
M 10	as hot forged and air cooled
M 11	as hot forged and quenched
M 20	as hot rolled

Annealed tempers

010	Cast and annealed
025	Hot rolled and annealed
030	Hot extruded and annealed
061	Annealed
070	Dead soft annealed
080	Annealed to 1/8 hard
081	Annealed to 1/4 hard
082	Annealed to 1/2 hard

Solution-treated temper

TB 00

Precipitation-hardened temper

TF 00	TB 00 + precipitation hardened
Quench-hardened tempers	
TQ 00	Quench hardened
TQ 50	Quench hardened and temper annealed

COMPOSIÇÃO DE LIGAS PARA TRABALHO MECÂNICO

Coppers (99.3% Cu min.)

Chemical composition (%)

UNS No.	Description	Cu min.	Others
C11000	Electrolytic tough pitch (ETP)	99.9	
C12200	Phosphorus deoxidized (DHP)	99.9	0.015-0.04 P
C15000	Zirconium copper	99.8	0.10-0.2 Zr

High-copper alloys (96% Cu min.)

Others

	Cu	Fe	Zn	P	Others
C16200	Rem.	0.5-1.2 Cd			
C17000	Rem.	0.2 Si, 1.6-1.79 Be, 0.2 Al			
C17200	Rem.	0.2 Si, 1.8-2 Be, 0.2 Al			
C17500	Rem.	0.1 Fe, 2.4-2.7 Co, 0.2 Si, 0.4-0.7 Be, 0.2 Al			
C18000	96.4	2.5 Ni, 0.7 Si, 0.4 Cr			
C18200	99.8 Min.	0.6-1.0 Cr, 0.1 Fe, 0.1 Si, 0.05 Pb			

Copper-zinc alloys (brasses)

Others

	Cu	Pb	Fe	Zn	P	Others
C23000	84-86	0.05	0.05	Rem.		
C26000	68.5-71.5	0.07	0.05	Rem.	0.02-0.05	
C27000	63-68.5	0.1	0.07	Rem.		
C28000	59-63	0.3	0.07	Rem.		
C32000	83.5-86.5	1.5-2.2	0.1	Rem.		0.25 Ni
C36000	60-63	2.5-3.7	0.35	Rem.		
C37000	59-62	0.8-1.5	0.15	Rem.		
C38500	55-59	2.5-3.5	0.35	Rem.		
C44300	70-73	0.07	0.06	Rem.		
C46500	59-62	0.2	0.1	Rem.		
C48500	59-62	1.3-2.2	0.1	Rem.		
C66700	68.5-71.5	0.07	0.1	Rem.		0.8-1.2 Sn, 0.02-0.06 As 0.5-1.0 Sn, 0.02-0.06 As 0.5-1 Sn 0.5-1.5 Mn 3.5-4.5 Si
C69400	80-83	0.3	0.2	Rem.		

Bronzes

Others

	Cu	Pb	Fe	Sn	Zn	P	Others
C50500	Rem.	0.05	0.05	1-1.7	0.3	0.03-0.35	
C51000	Rem.	0.05	0.10	4.2-5.8	0.3	0.03-0.35	
C52400	Rem.	0.05	0.10	9-11	0.2	0.03-0.35	
C54400	Rem.	3.5-4.5	0.10	3.5-4.5	1.5-4.5	0.01-0.50	
C60800	Rem.	0.1	0.10				5-6.5 Al, 0.02-0.35 As 6-8 Al, 1 Mn
C61400	Rem.	0.01	1.5-3.5		0.2	0.015	
C65100	Rem.	0.05	0.1	1.2-1.6	0.2		0.1 Al, 0.8/2.0 Si
C65500	Rem.	0.05	0.8		1.5		0.5/1.3 Mn, 2.8/3.8 Si

Copper-nickel alloys

Others

	Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn	Others
C70600	Rem.	0.05	1-1.8	1.0	9-11	1.0	
C71000	Rem.	0.05	1.0	1.0	19-23	1.0	
C71600	Rem.	0.05	0.5	0.05	29-33	1.0	

Copper-nickel-zinc alloys

Others

	Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn	Others
C74500	Nickel silver 65-10	63.5-66.5	0.1	0.25	Rem.	9-11	0.5
C75200	Nickel silver 65-18	63.5-66.5	0.05	0.25	Rem.	16.5-19.5	0.5
C77000	Nickel silver 55-18	53.5-56.5	0.05	0.25	Rem.	16.5-19.5	0.05-0.35

COMPOSIÇÃO DE LIGAS PARA FUNDIÇÃO

Coppers (99.3% Cu min.)

UNS no.	Description	Chemical composition (%)												
		Cu Min.	Others											
C80100	Pure copper	99.95												
High-copper alloys (94% Cu min)														
C81500	Beryllium copper	95	0.45-0.8	2.4-2.7	0.15	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
C82000	Chromium copper	98			0.15		0.1	0.1	0.1	0.02	0.1	0.02	0.1	0.4/1.5
C82500	Beryllium copper	95.5	1.9-2.15	0.35-0.7	0.2/0.35	0.2	0.25	0.15	0.1	0.02	0.1	0.02	0.1	0.1

Copper-zinc alloys (brasses)											
Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	P	Al	Si	Other		
C83300	Low-zinc brass	1-2	2-6								
C83600	Red brass 5-5-5	4-6	4-6	0.3	1	0.05	0.005	0.005	0.005	0.25 Sb,	0.08 S
C84500	Semi-red brass	2-4	6-7.5	10-14	0.4	1	0.02	0.005	0.005	0.25 Sb,	0.08 S
C85200	Leaded yellow brass	0.7-2	1.5-3.8	20-27	0.6	1	0.02	0.005	0.05	0.2 Sb,	0.05 S
C85500	Yellow brass	0.2	0.2	Rem.	0.2	0.2			0.05	0.2 Mm	
C85700	Leaded yellow brass	0.5-1.5	0.8-1.5	32-40	0.7	1	0.8				
C86300	Manganese brass	0.2	0.2	22-28	2-4	1	5-7.5			2.5-5 Mn	
C87500	Silicon brass	79 min.	0.5	12-16			0.5	3-5			

Bronzes											
Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	S	P	Al	Si	Mn
C86100	Manganese bronze	0.2	0.2	Rem.	2-4				4.5-5.5		1.5-5
C86700	Leaded manganese bronze	1.5	0.5-1.5	30-38	1-3	1			1-3		1-3.5
C87300	Silicon bronze	94 min.	0.2	0.25	0.2					3.5-4.5	0.8-1.5
C90200	Tin bronze	91-94	6-8	0.3	0.5	0.2	0.2	0.5	0.05	0.005	0.005
C90300	Tin/zinc bronze	86-89	7.5-9	0.3	3-5	0.2	0.2	1.0	0.05	0.005	0.005
C92410	Leaded tin bronze	Rem.	6-8	2.5-3.5	1.5-3	0.2	0.25	2.0	0.005	0.005	0.005
C94300	High-lead tin bronze	68.5-73.5	4.5-6	22-25	0.8	0.15	0.8	1.0	0.08	0.005	0.2
C94800	Nickel-tin bronze	84-89	4.5-6	0.3-1	1-2.5	0.25	0.15	4.5-6	0.05	0.005	
C95200	Aluminum bronze	86 min.		2.5-4					8.5-9.5		
C95500	Nickel-aluminum bronze	78 min.		3-5		3-5.5			10-11.5		3.5

Copper-nickel alloys											
Cu	Pb	Fe	Ni	Mn	Nb	C					
C96200	Cupronickel 10%	0.03	1-1.8	9-11	1.5	3	1	0.1			
C96300	Cupronickel 20%	Rem.	0.4-1	18-22	1.0	0.7	1				
C96400	Cupronickel 30%	65-69	0.03	2.5-1.5	28-32	1.5	0.5	0.5-1.5	0.15		

Leaded coppers											
Cu	Sn	Pb	Fe	Ag							
C98200	Leaded copper	73-79	0.5	21-27	0.35						
C98600	Leaded copper	60-70	0.5	30-40	0.35	1.5					

Copper-nickel-zinc alloys												
Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	S	P	Al	Mn	Si	
C97300	Nickel silver (high lead)	53-58	1.5-3	8-11	17-25	1.5	0.35	11-14	0.08	0.05	0.005	0.5
C97400	Nickel silver	58-61	2.5-3.5	4.5-5.5	Rem.	1.5	15.5-17					
C97800	Nickel silver (low lead)	64-67	4.5-5.5	1-2.5	1-4	1.5	0.2	24-27	0.08	0.05	0.005	1

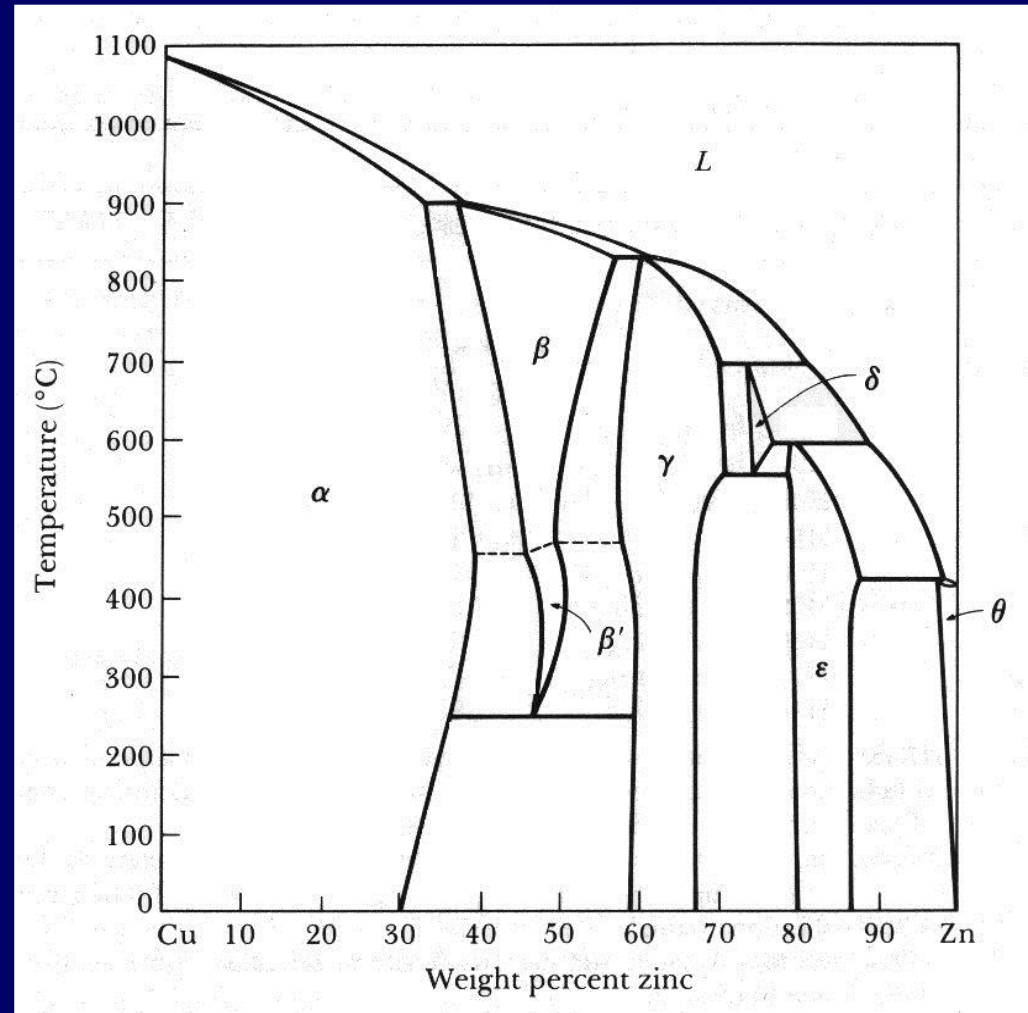
LIGAS DE COBRE - *LATÕES*

INFLUÊNCIA DO Zn

- Aumenta a resistência mecânica
- Aumenta a ductilidade
- Baixa o ponto de fusão
- Baixa o custo

FASES PRESENTES

- Fase α (até 35%Zn)
 - Dúctil e def. a frio até 30%Zn
 - 5%Zn – Latão para dourar (resist à corrosão, medalhas)
 - 15%Zn – Latão vermelho (canalizações, joalheria, decor.)
 - 34%Zn – Latão amarelo (+barato, parafusos, rebites)
- Fases α + β
 - Menos dúctil
 - 40%Zn – Metal Muntz – peças fundidas ou def. quente, fácil maquinação, resist ~ aço
 - 40%Zn, 1%Sn – Naval brass – grande resistência à corrosão



LIGAS DE COBRE - *LATÕES*

LATÃO DE ALUMÍNIO

- Liga ternária Cu-Zn-Al
- Maior resistência à tracção
- Maior resistência à corrosão
- 22%Zn, 2%Al é usada em canalizações de água salgada na construção naval

LATÃO DE CHUMBO

- O Pb é insolúvel no Cobre, formando pequenas bolsas
- Efeito lubrificante, melhora maquinabilidade
- Usado em peças sujeitas a atrito

LATÃO DE ESTANHO

- Aumenta resistência à tracção, rigidez e resistência à corrosão
- “Admiral bronze” (70Cu-28Zn-1Sn-0,75Pb) tubos de condensadores

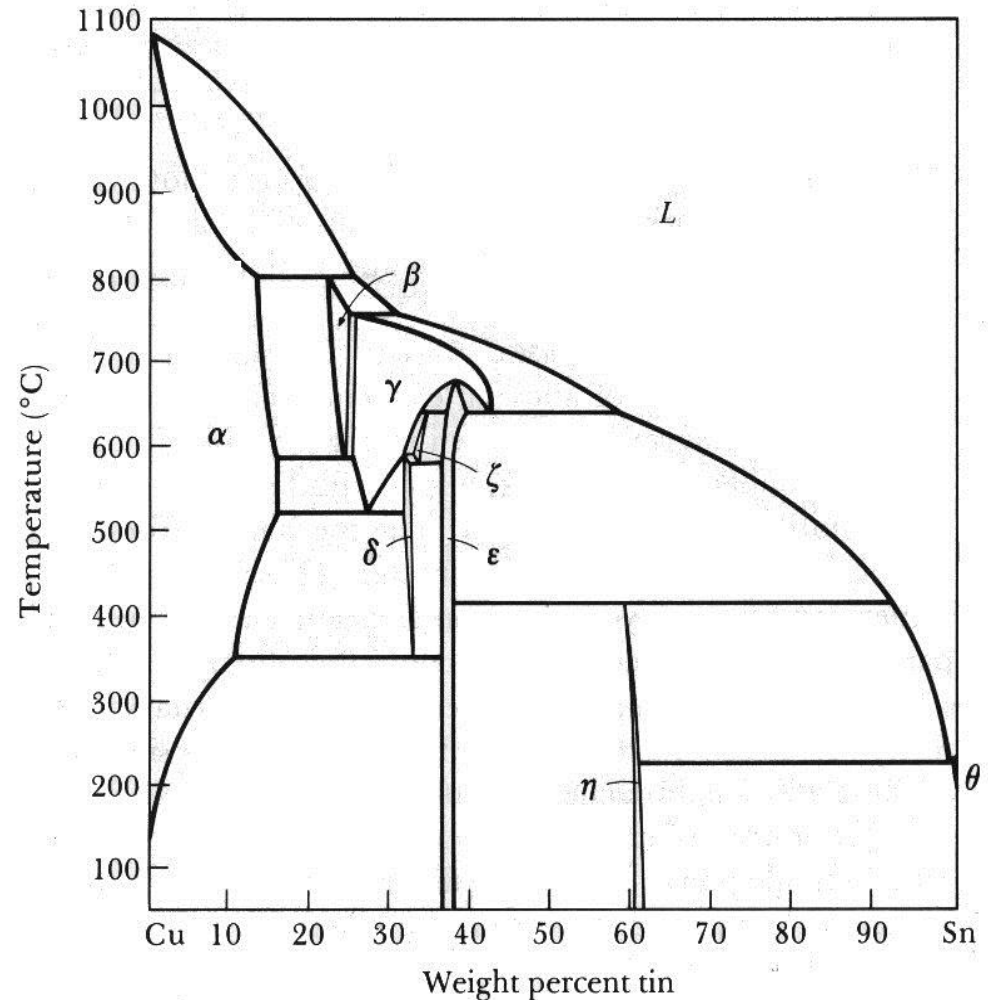
LATÃO DE SILÍCIO

- Aumenta a fluidez da fusão
- Aumenta resistência tracção
- “Bronze silício” (85Cu-10Zn-5Si) é usado em bombas, válvulas, engrenagens, etc

LIGAS DE COBRE - *BRONZES*

INFLUÊNCIA DO Sn

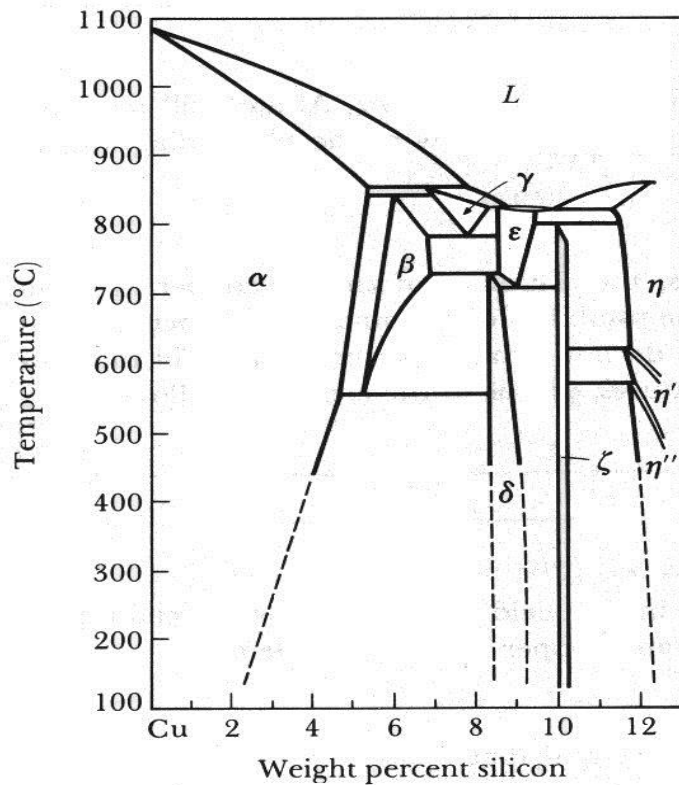
- Aumenta o limite elástico
- Aumenta a dureza
- Aumenta a ductilidade, para teores <10%
- Liga monofásica para Sn<1,3%
- Até 13%Sn – grande ductilidade
 - Aplicação em decoração, torneiras, peq. chumaceiras
 - Bronzes fosforosos – para fundição (boa fluidez)
- 13<%Sn<25 – grande dureza e fraca ductilidade
 - Aplicação em casquilhos, chumaceiras, juntas, elementos com forte atrito, instrum. musicais (>17%Sn)
- Elevado preço do Sn levou à sua substituição por Al, Pb, Be e Si



LIGAS DE COBRE - *BRONZES*

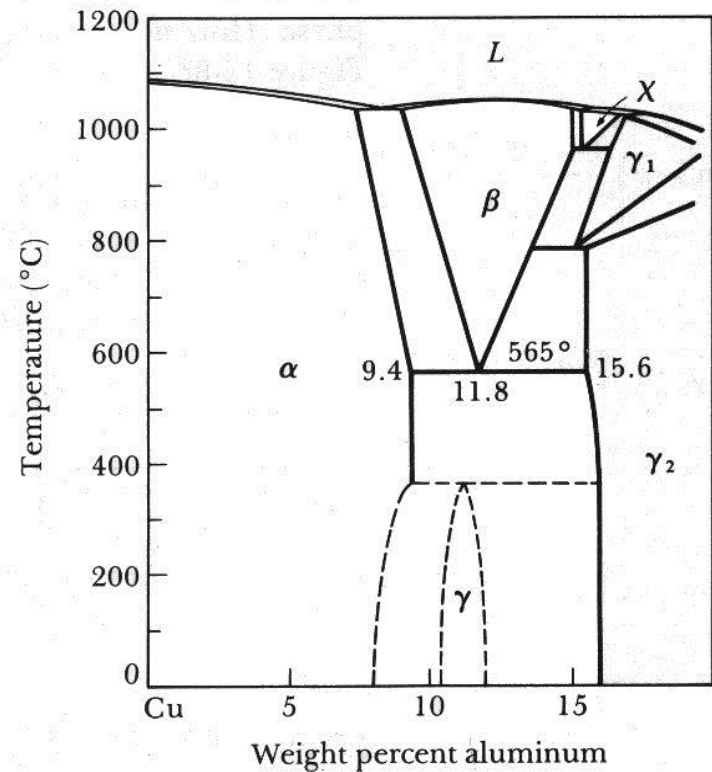
BRONZE-SILÍCIO (Cu-Si)

- Propriedades semelhantes ao Cu-Sn
- Particularmente adequado a soldadura e a peças fundidas
- Até 4%Si—alta resistência e tenacidade



BRONZE-ALUMÍNIO (Cu-Al)

- Propriedades semelhantes ao Cu-Sn
- Empregue em engrenagens, órgãos de máquinas, arquitectura e decoração



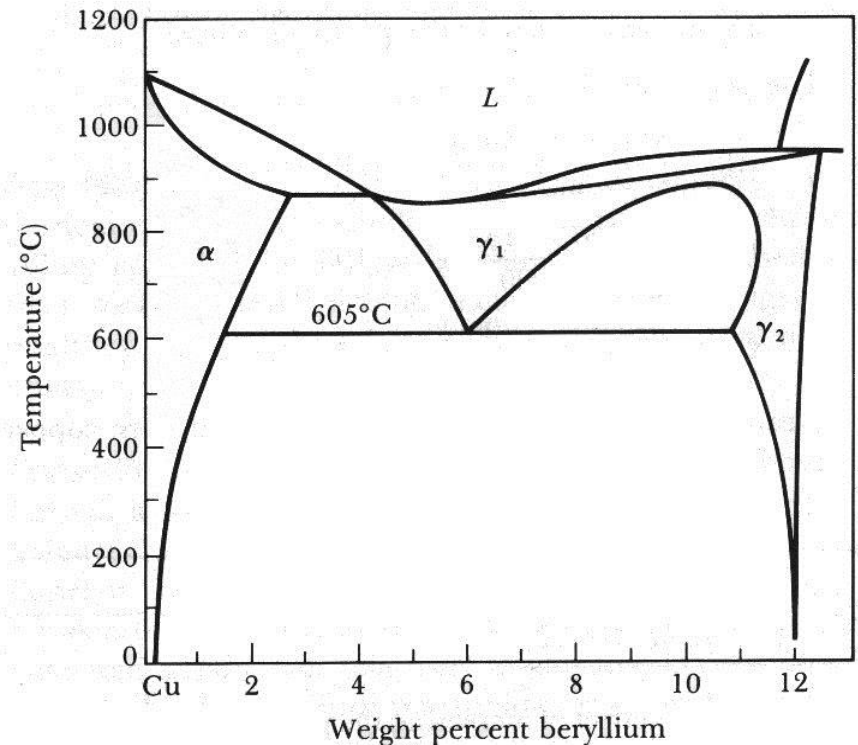
LIGAS DE COBRE - *BRONZES*

BRONZE-BERÍLIO (Cu-Be)

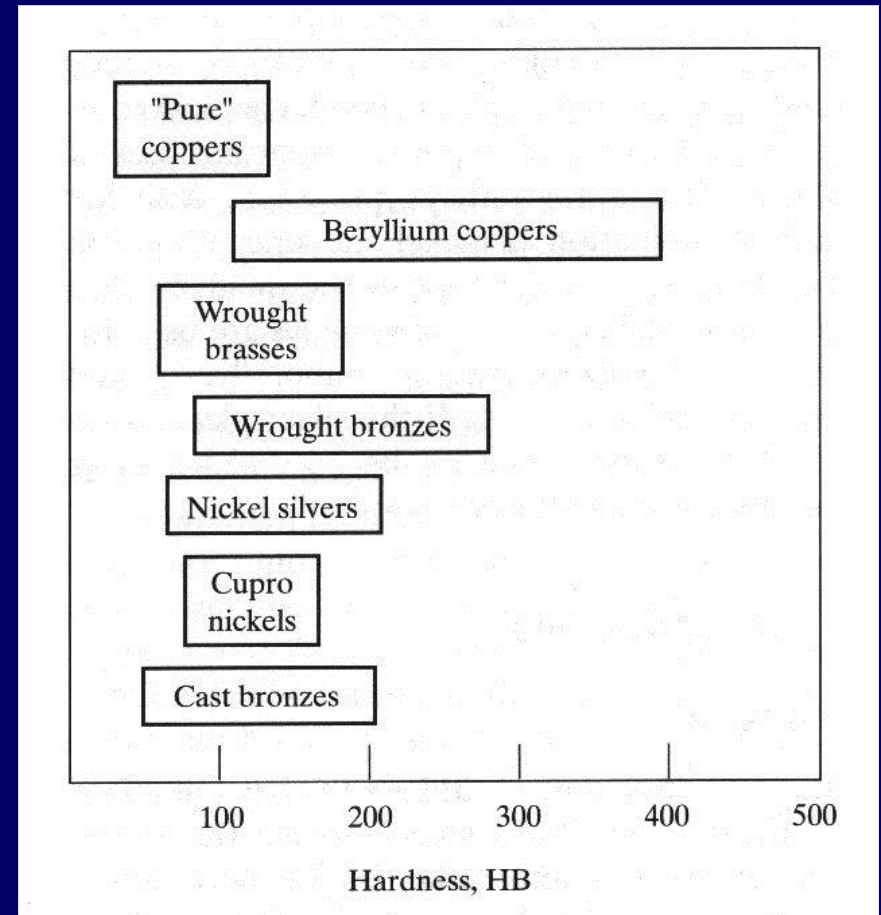
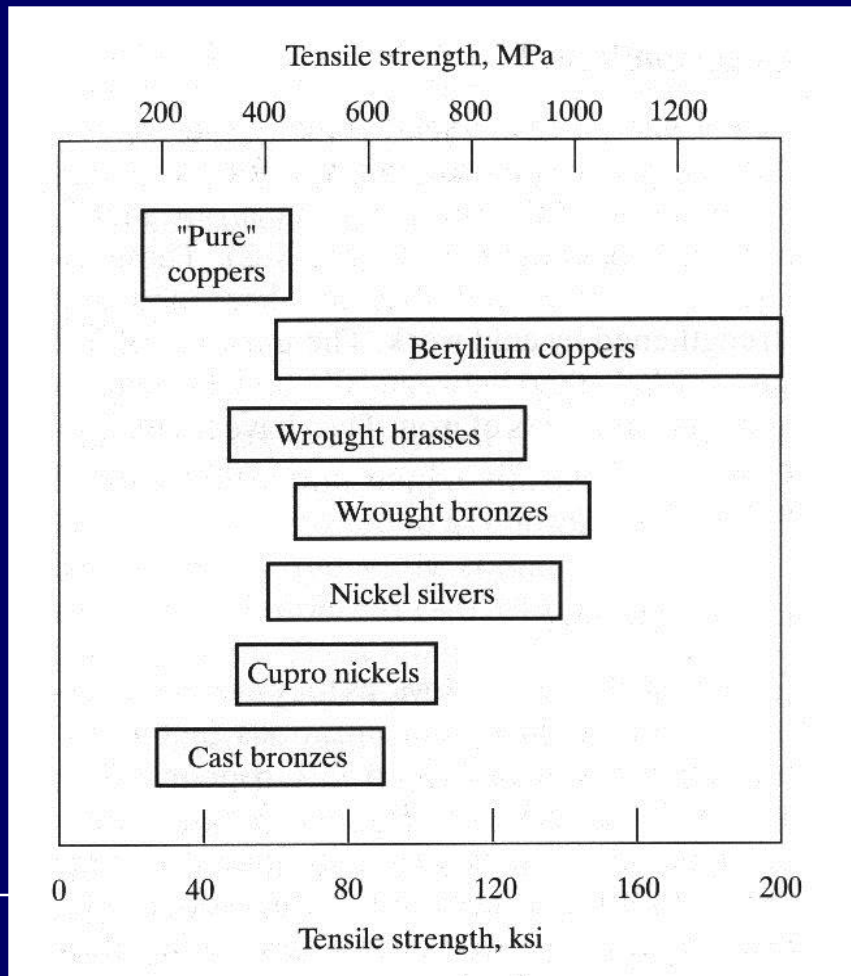
- Única liga de Cu endurecível por precipitação
- Liga com maior resistência
- Excelente resistência ao desgaste e à corrosão
- Usada em instrumentos cirúrgicos e dentários, molas e eléctrodos de soldadura por pontos

CUPRONÍQUEIS (Cu-Ni)

- O níquel é solúvel no cobre em qualquer proporção
- Ligas de melhor resistência à corrosão
- Não muito duras, mas bastante dúcteis
- Usadas em permutadores de calor, tubagens, condensadores, etc



LIGAS DE COBRE



LIGAS DE COBRE

Nome	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
				Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO							
ETP	C11000	0,04 Oxig	Recozido	220	69	45	Fio electrico, rebites, juntas, painelas, 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, electrodos não consumíveis
Latão de cartuchos	C26000	30Zn	Recozido Def.frio (H04)	300 525	75 435	68 8	Radiadores de automóveis, componentes de munições, casquilhos de lâmpadas, envólucros de lanternas
Bronze fosforoso	C51000	5Sn, 0.2P	Recozido Def.frio (H04)	325 560	130 19	64 10	Discos de embraiagem, diafragmas, fusíveis, molas
Cupro-níquel	C71500	30Ni	Recozido Def.frio (H02)	380 515	125 485	36 15	Condensadores e permutadores de calor, tubagens água salgada
LIGAS DE FUNDIÇÃO							
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

LIGAS E SUPERLIGAS DE NÍQUEL

GENERALIDADES

- 10º material mais consumido
- É das ligas de aplicação industrial mais recente
- Existem várias séries de ligas com várias designações – Monel, Inconel, Incoloy, Nimonic, Hastelloy, etc

PROPRIEDADES

- Ni e suas ligas tem grande resistência à corrosão
- Rigidez próxima do aço
- Algumas ligas têm elevada tenacidade e resistência a temperaturas sub-zero
- Outras ligas têm elevada resistência até 1200°C, mantendo a resistência à corrosão

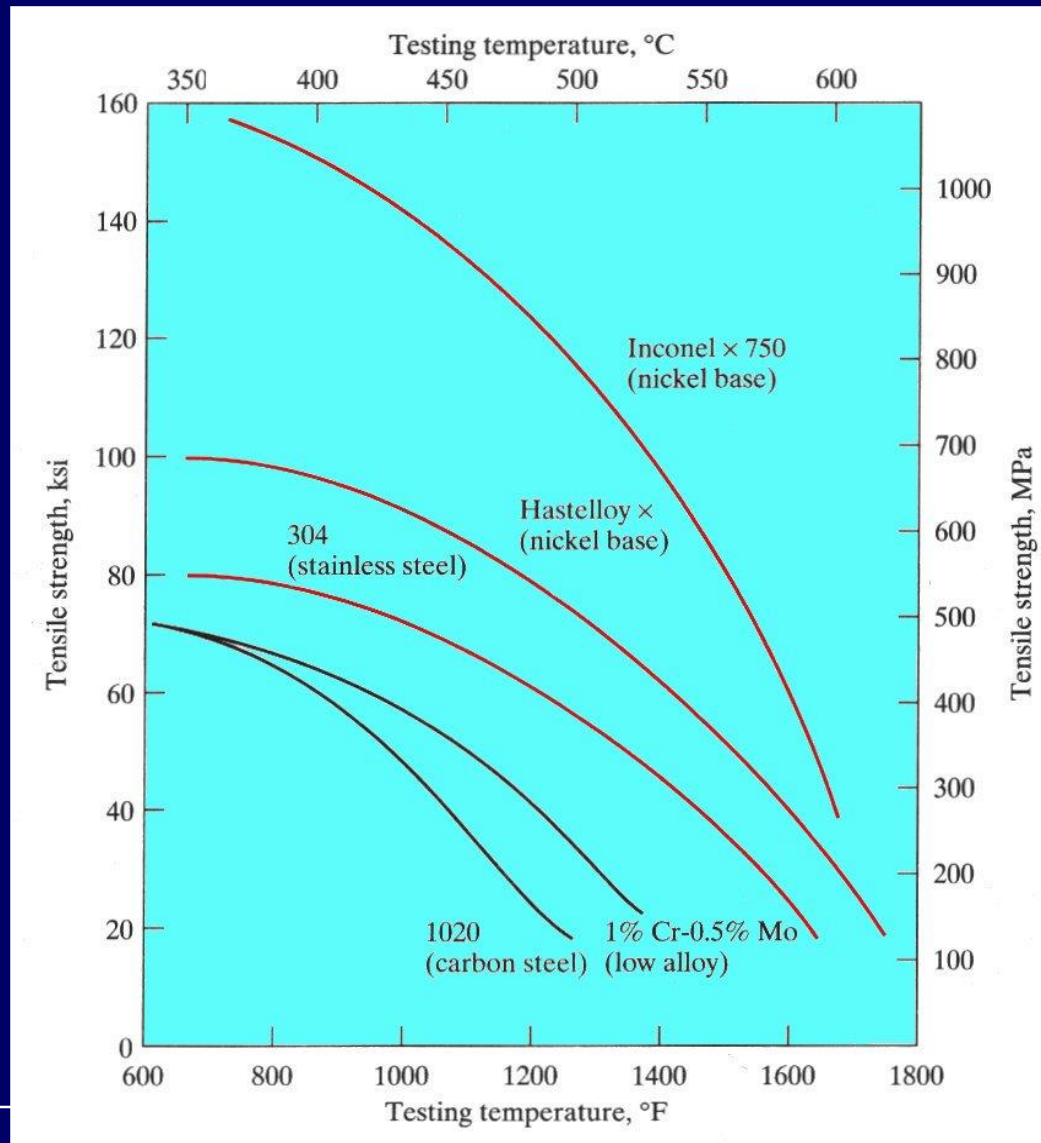
APLICAÇÕES

- Usado na indústria química e alimentar
- Revestimento de chapa de aço
- Aplicações requerendo elevada resistência à fluência e corrosão a altas temperaturas

TRATAMENTOS

- Elevadas propriedades mecânicas são conseguidas por solução sólida, endurecimento por dispersão de carbonetos e/ou por envelhecimento

LIGAS E SUPERLIGAS DE NÍQUEL



LIGAS E SUPERLIGAS DE NÍQUEL

Nome	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
				Rot. (MPa)	Ced. (MPa)	Ext. Rot (%)	
Ni puro	N02200	99.9Ni	Recozido	350 665	112 560	45 4	Revestimentos ou componentes para resistência a corrosão
Monel 400	N04400	31.5Cu	Recozido	546	273	37	Válvulas, bombas e permutadores de calor
Monel K500	N05500	29.5Cu, 2.7Al, 1.0Fe, 0.6Ti	Envelhecido	1050	770	30	Veios, molas e pás de turbina
Inconel 600	N06600	15.5Cr, 8Fe	Carbonetos dispersos	560	203	49	Equipamentos para tratamento térmico
Inconel 625	N06625	21.5Cr, 2.5Fe, 9Mo, 3.6Nb	Deformado a frio	896	483	50	
Inconel X750	N07750	15.5Cr, 7Fe, 2.5Ti	Envelhecido	1241	827	25	
Hastelloy B-2	N10665	28Mo	Carbonetos dispersos	950	520	55	Componentes estruturais resistentes à corrosão e processamento químico
Hastelloy C276	N10276	16Cr, 16Mo, 6Fe, 4W		792	531	60	
Incoloy 800	N08800	46Fe, 21Cr	Carbonetos dispersos	623	287	37	Permutadores de calor
Incoloy 825	N08825	21.5Cr, 30Fe, 3Mo, 2.2Cu		690	310	45	

LIGAS DE BAIXO PONTO DE FUSÃO

ZINCO

ESTANHO

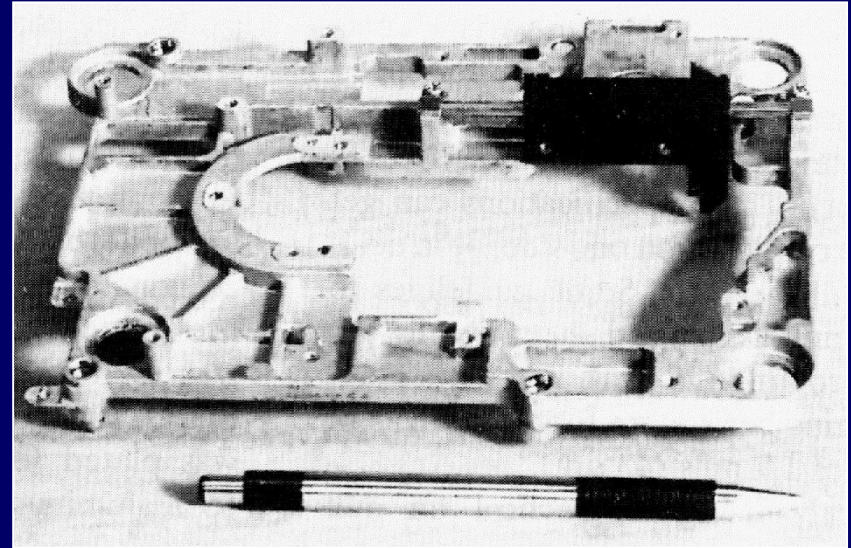
CHUMBO

GENERALIDADES

- Definidos como os materiais com temperatura de fusão abaixo de 800°C
- Não são sensíveis ao trabalho a frio, não apresentando, por isso, encruamento por deformação plástica
- Apresentam fluência à temperatura ambiente, não sendo por isso usados em aplicações estruturais
- São particularmente indicados para a obtenção de peças fundidas devido à sua elevada fluidez e ao seu baixo ponto de fusão

ZINCO - Zn

- Forma ligas com Al, Cu e Pb
- Muito usado em fundição de peças pelo baixo ponto de fusão e elevada fluidez
- A produção divide-se em:
 - Revestimentos – 40%
 - Fundição peças – 26%(carbu. Autom.)
 - Elemento de liga em latões – 18%
 - Zinco laminado – 12%
 - Outros – 4% (tintas anti-corrosivas, ânodos consumíveis, etc)



ESTANHO - Sn

- Sn “puro” só é usado em revestimentos
- Sensível ao trabalho a frio mas amacia com o tempo
- Forma ligas com Sb e Cu usadas em chumaceiras de escorregamento
- 40% da produção vai para revestimentos anti-corrosivos de aço e cobre
- Usado em brazagem

CHUMBO - Pb

- Um dos metais mais pesados
- Substitui Sn em chumaceiras
- Fundição de símbolos tipográficos
- Protecção contra raios γ e raios x
- Isolamento de som e vibrações
- Baterias de acumuladores

LIGAS DE METAIS REFRACTÁRIOS

GENERALIDADES

- Definidos como os materiais com temperatura de fusão acima de 1800°C
 - Tungsténio - W
 - Molibdénio - Mo
 - Tântalo - Ta
 - Nióbio - Nb
 - Zircónio, Crómio e Vanádio (não usados como refractários)
 - Háfnio e Rénio (muito raros)
- Todos possuem elevadas densidades
- Exibem fraca resistência à corrosão a temperaturas elevadas
- Têm fraca ductilidade à temperatura ambiente

TUNGSTÊNIO

- Metal estrutural com maior temperatura de fusão, maior densidade e maior dureza
- Elevado módulo de elasticidade (406GPa)
- Bom condutor eléctrico
- 2/3 da produção vai para WC e apenas 15% é usado na forma pura
- Usado em :
 - Filamentos de lâmpadas
 - Contactos eléctricos
 - Electrodo não consumíveis
 - Protecção contra radiações
 - Contrapesos, volantes de inércia, etc

TÂNTALO

- Menos abundante dos 4 refractários
- Alguma ductilidade à temperatura ambiente
- Baixa resistência
- Bom condutor térmico
- Boa resistência à corrosão à temperatura ambiente - semelhante aos vidros
- Usado em :
 - Material cirúrgico (corrosão)
 - Permutadores de calor
 - Processamento químico

MOLIBDÉNIO

- Módulo de elasticidade elevado (317GPa)
- 90% da produção de Mo vai para elemento de liga em aços
- Boa resistência ao choque térmico
- Elevada condutibilidade térmica
- Liga TZM (0,5Ti-0,07Zr) possui resistência a altas temperaturas (700MPa a 1000°C) - melhor que qualquer inox ou liga de Ni
- Usado em :
 - Dispositivos electrónicos de comando em aviação
 - Escudos de radiação
 - Moldes para processamento de vidro
 - Matrizes de forjamento e extrusão

NIÓBIO

- Características semelhantes ao Ta
- Baixo módulo de elasticidade
- Elevada resistência a metais líquidos
- Baixa absorção de neutrões
- Usado fundamentalmente na indústria nuclear e aeroespacial

	Propriedades mecânicas (MPa)				Densidade (ton/m ³)	Dureza HV	Temperatura de Fusão (°C)
	UNS	Rotura	Cedência	Mod. Young			
Molibdênio	R03604	655	551	324000	10220	220	2610
Tungstênio	R07005	1516	1516	407000	19250	480	3410
Tântalo	R05200	413	331	186000	16600	150	2996
Nióbio	R04200	50	----	103000	8660	60	2470

