

3. Metais Não Ferrosos



Metais Não Ferrosos

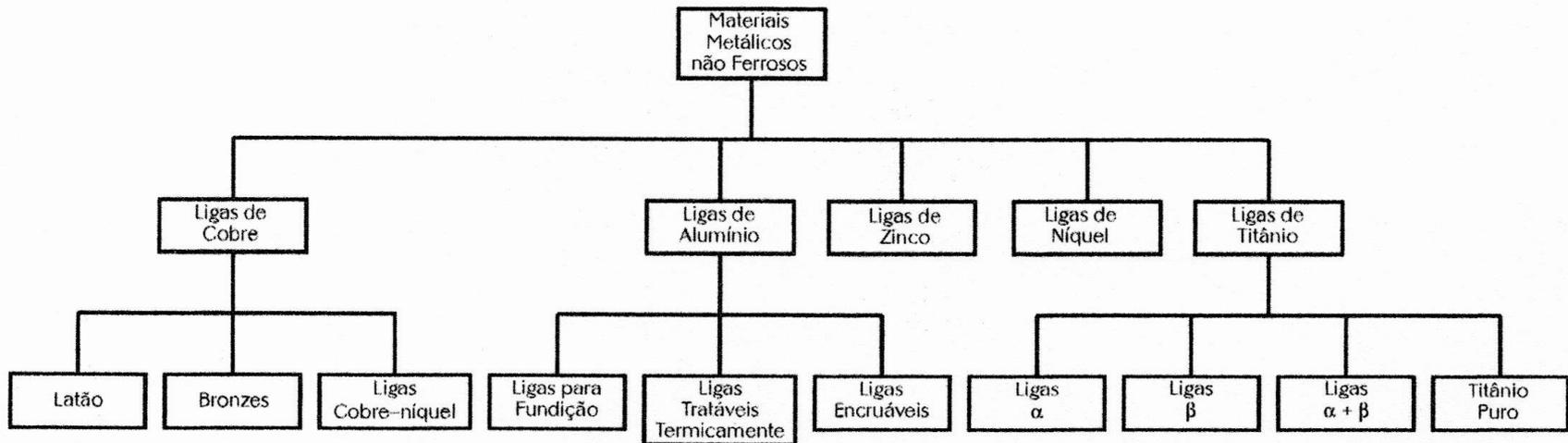


TABELA 3.19 Propriedades mecânicas de ligas não ferrosas

MATERIAIS	DENSIDADE g/cm ³	MÓDULO DE ELASTICIDADE GPa	LIMITE DE ESCOAMENTO MPa	LIMITE DE RESISTÊNCIA MPa	ALONGAMENTO %	RESISTIVIDADE ELÉTRICA Ohm · m	EXPANSÃO E CONDUTIVIDADE TÉRMICA W/m · K
Alumínio	2,7	69	35	90	40	$2,82 \times 10^{-8}$	247
Cobre	8,9	110	69	200	45	$1,72 \times 10^{-8}$	398
Magnésio	1,7	45				$4,4 \times 10^{-8}$	160
Titânio	4,5	107	450	520	25	$4,2 \times 10^{-8}$ $5,2 \times 10^{-8}$	21,9

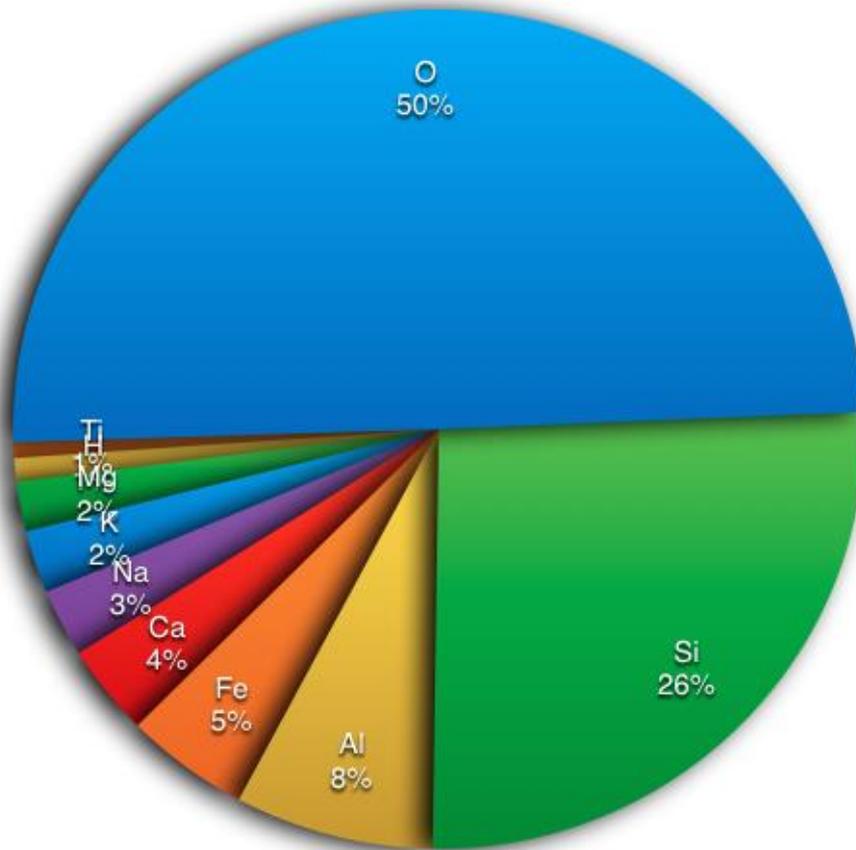


Alumínio e suas Ligas

Histórico:

● O ● Si ● Al ● Fe ● Ca ● Na ● K ● Mg ● H ● Ti

Os dez elementos mais abundantes na crosta terrestre



Apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é muito recente o uso do **alumínio** na forma metálica.

Há 7.000 anos, na Pérsia, vasos de cerâmica eram produzidos com um tipo de barro que continha alumina.

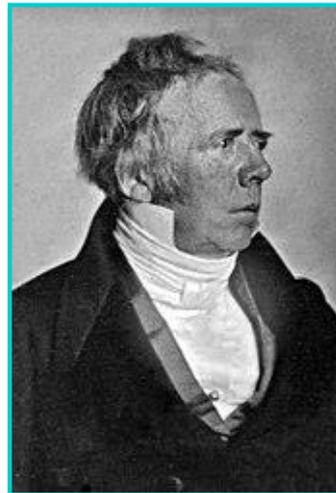
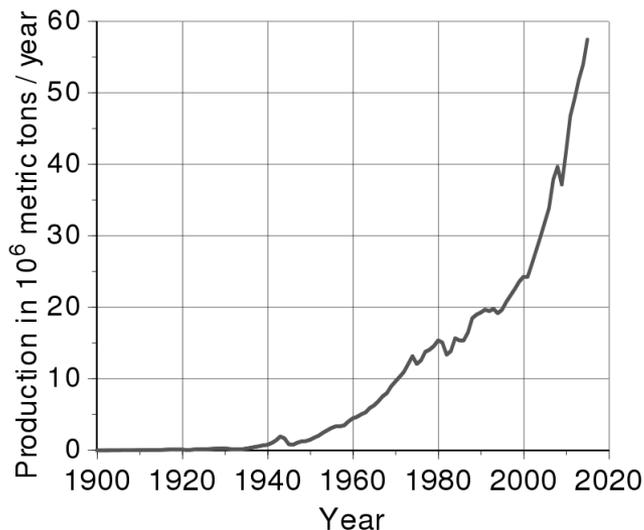
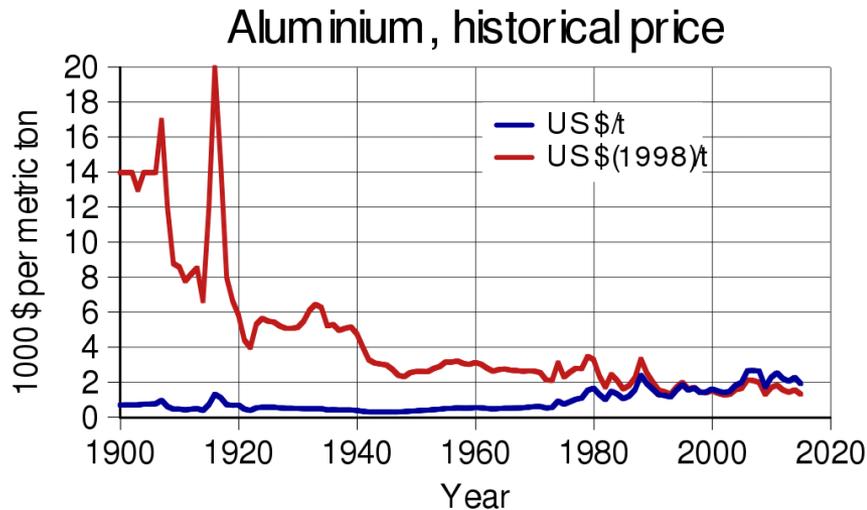
Mais tarde, egípcios e babilônios também usaram materiais contendo alumínio para produzir cosméticos e produtos medicinais.

No entanto, nada se sabia sobre o metal como o conhecemos hoje, já que o alumínio só começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos.



Alumínio e suas Ligas

Cronologia:



Hans Christian Oersted

1821 – P. Berthier descobre um minério avermelhado, com 52% de óxido de alumínio, perto de Les Baux na França (descoberta da **bauxita**).

1825 – H. C. Oersted consegue isolar o alumínio a partir do cloreto de alumínio.

1854 – H. E. Sainte-Claire Deville mostra o primeiro lingote de alumínio e anuncia um método industrial para sua produção por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho fundido de criolita.

1945 – Em Ouro Preto (MG) é produzido o primeiro lingote de alumínio do Hemisfério Sul, na fábrica da Elquisa.



Alumínio e suas Ligas

Oferta Mundial (2013)

As reservas mundiais de bauxita somaram 25,6 bilhões de toneladas, sendo as principais localizadas em Guiné e na Austrália com 7,4 bilhões e 6 bilhões de toneladas, respectivamente. O Vietnã aparece em terceiro lugar com 2,1 bilhões de toneladas, seguido da Jamaica com 2 bilhões que assim completa o grupo de maiores depósitos mundiais. O Brasil teve em 2013 aumento de suas reservas devido a reavaliação dos depósitos e chegou a 714 milhões de toneladas.

Em 2013, a produção mundial de bauxita chegou a 257 milhões de toneladas, quantidade praticamente igual a registrada em 2012, sendo que o maior produtor mundial em 2013 foi a Austrália com 77 milhões, seguida da China com 47 milhões, o Brasil aparece em terceiro lugar com 12,7% do total produzido o que representa 32,8 milhões de toneladas. A lista com os maiores produtores mundiais é completada com Indonésia com 30 milhões, Índia 19 milhões e Guiné com 17 milhões.

Tabela 1 Reserva e produção mundial

Discriminação Países	Reservas ^{(1) (2)} (10 ⁶ t)	Produção (10 ³ t)		
	2013 ^(p)	2012 ^(r)	2013 ^(p)	(%)
Brasil	714	33.260	32.867	12,7
Austrália	6.000	76.300	77.000	29,9
China	830	47.000	47.000	18,2
Indonésia	1.000	29.000	30.000	11,6
Índia	540	19.000	19.000	7,4
Guiné	7.400	17.800	17.000	6,6
Jamaica	2.000	9.340	9.500	3,7
Rússia	200	5.720	5.200	2,0
Cazaquistão	160	5.170	5.100	2,0
Outros países	6.850	14.830	15.250	5,9
TOTAL	25.694	257.420	257.917	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS- *Mineral Commodity Summaries*–2014; *International Aluminium Institute* (IAI); Associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

(p) Dado preliminar, exceto Brasil; (r) revisado. (1) reserva lavrável de bauxita, para o Brasil; (2) reserva econômica de bauxita, para os demais países.



Alumínio e suas Ligas

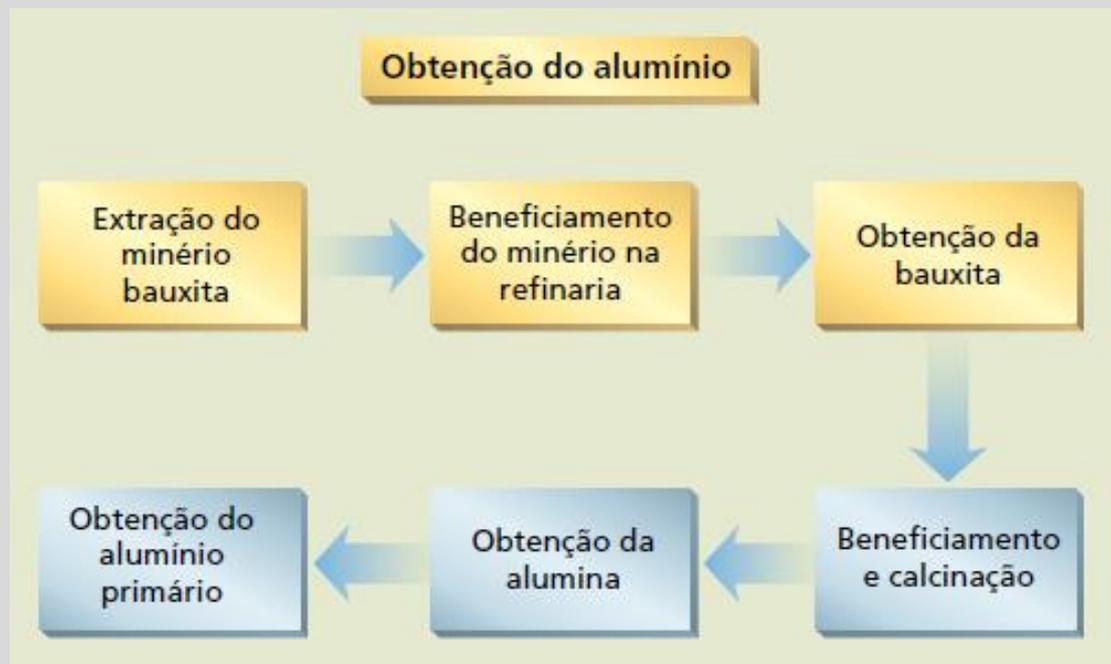
Características do Alumínio

- O Alumínio é não magnético e possui elevadas condutividades térmica e elétrica.
- Possui baixa massa específica ($2,7 \text{ g/cm}^3$), é dúctil e maleável.
- Ponto de fusão 660°C , Ponto de ebulição 2.519°C .
- Resistência à oxidação progressiva, formação de camada de óxido protetor Al_2O_3 que impede a progressão da deterioração.
- O alumínio com tratamentos e/ou elementos de liga se torna resistente à corrosão em meios mais agressivos.
- Processamento ainda é caro, mas é de fácil reciclagem.



Alumínio e suas Ligas

Obtenção do Alumínio



Alumínio e suas Ligas

Obtenção do Alumínio



Exemplo: Planta da CBA (Votorantim Metais) na cidade de Alumínio-SP, a maior fábrica de alumínio do mundo a operar totalmente integrada, realizando num mesmo local desde a transformação da bauxita até a fabricação de produtos fundidos e trabalhados.



Exemplo: Tarugos (billets), que serão homogeneizados para dissolver compostos segregados na matriz e depois solubilizados, extrudados e envelhecidos.



EEL-USP
Escola de Engenharia de Lorena

Alumínio e suas Ligas

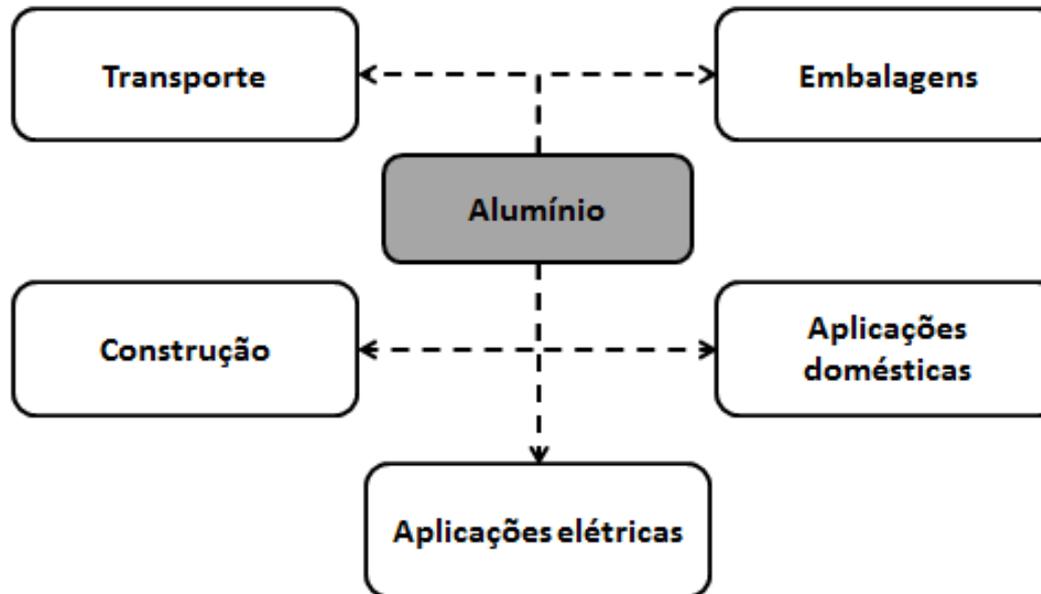
Obtenção do Alumínio

Vídeo: Fábrica da CBA em Alumínio-SP



Alumínio e suas Ligas

Aplicações das Ligas de Alumínio



- Outras aplicações: Indústrias de transformação, química em geral, papelreira, metalúrgica e petroquímica, para produção de refratários, revestimentos cerâmicos, abrasivos, vidros, porcelanas, massas de polimento, tintas, retardantes de chama, isoladores elétricos, pastilhas de freio, corantes.



Alumínio e suas Ligas

Produtos Semimanufaturados:

Perfis Extrudados



Chapas e Laminados



Folhas



Fundidos e forjados



Fios e cabos

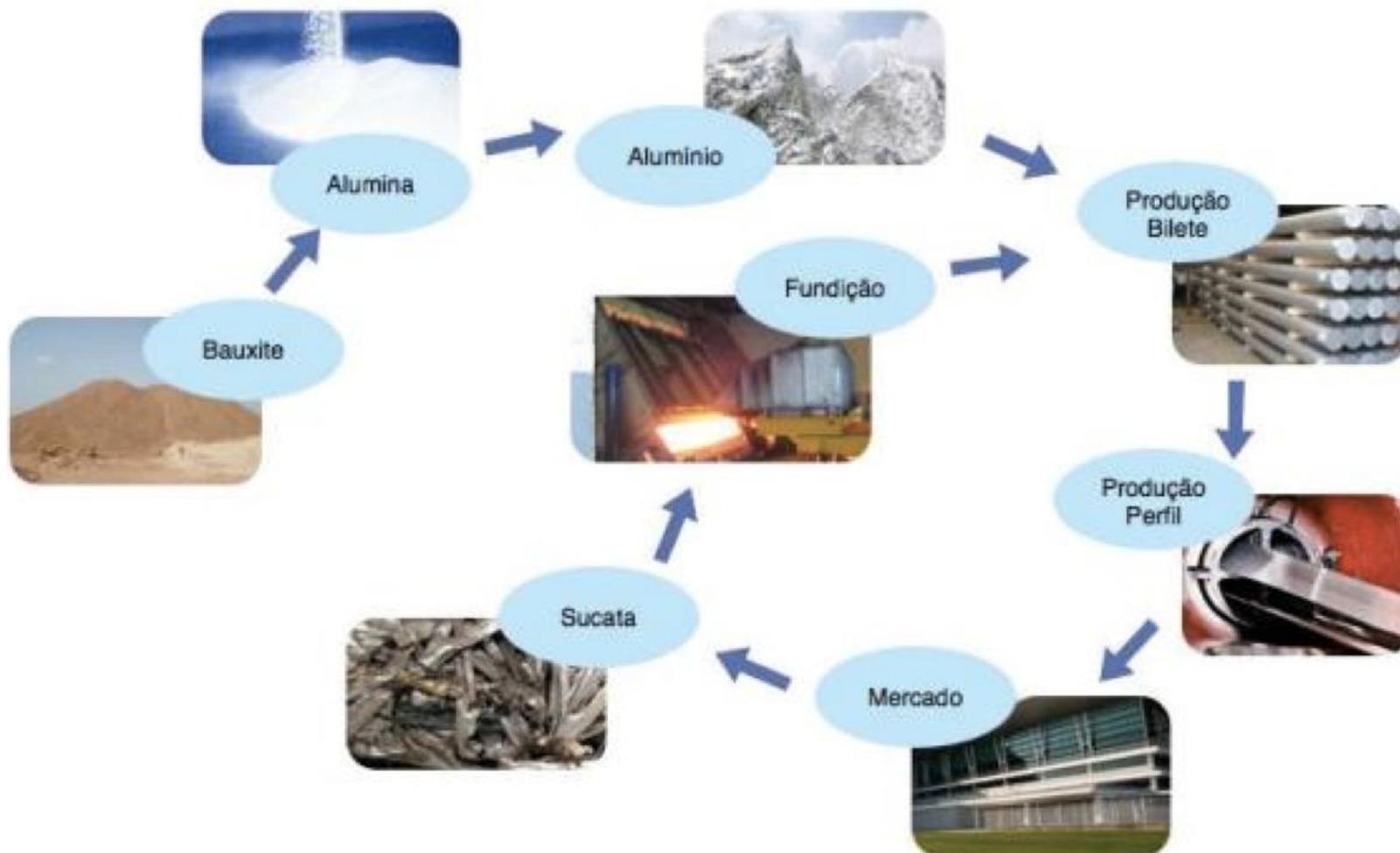


Aluminas especiais



Alumínio e suas Ligas

O Ciclo do Alumínio



Alumínio e suas Ligas

Classificação das Ligas de Alumínio

As ligas de alumínio podem ser classificadas de acordo com três critérios:

- Processo de fabricação
- Tratamento térmico
- Composição química.

Quanto à fabricação, elas são divididas em dois grandes grupos:

- Ligas para fundição (*casting*)
- Ligas trabalhadas (*wrought alloys*)

Nessas últimas, a forma final do produto é obtida por meio de conformação mecânica (deformação plástica) a quente e/ou a frio. As ligas trabalhadas são também classificadas em tratáveis e não tratáveis termicamente.

O estado de uma liga de alumínio é designado como “têmpera”. O sistema de nomenclatura de têmpera é feito por meio de letras, e a letra T, seguida por um número de 1 a 10, aplica-se às ligas que sofreram tratamento térmico. Por exemplo, a têmpera T3 indica que o material foi deformado a frio após solubilização e em seguida envelhecido naturalmente (ou seja, à temperatura ambiente) até a condição estável (a qual é atingida em poucos dias).

O envelhecimento das ligas de alumínio se dá pela precipitação de compostos intermetálicos, propiciando o endurecimento e aumento da resistência à tração.



Alumínio e suas Ligas

Classificação das Ligas de Alumínio

Série	Composição Química	Aplicações principais
1XXX	Al comercialmente puro	Contatos elétricos, Alclad
2XXX	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica
3XXX	Al-Mn e Al-Mn-Mg	Latas de bebidas. Painelas
4XXX	Al-Si	Metal de adição para soldas. Pistões forjados de motores
5XXX	Al-Mg	Aplicações náuticas (navios e barcos)
6XXX	Al-Mg-Si	Perfis arquitetônicos. Componentes automotivos
7XXX	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XXX	Outras ligas (Al-Li, Al-Fe...)	Várias



Alumínio e suas Ligas

Classificação das Ligas de Alumínio (especificação AAH35.1-2000)

Regarding the composition

Regarding the heat treatment

Designation	Main alloying elements	Main impurities	Composition
1xxx	Aluminum (min. 99,00%)	Fe, Si	Al- Fe- Si
2xxx	Copper	Mg	Al- Cu- Mg
3xxx	Manganese		Al- Mn
4xxx	Silicon		Al- Si
5xxx	Magnesium		Al- Mg
6xxx	Magnesium and Silicon		Al- Mg- Si
7xxx	Zinc	Mg, Cu, Cr	Al- Zn- Mg- Cu - Cr
8xxx	Other Elements	—	—



• Non treatable alloys

• Heat treatable



Precipitation
hardenable alloys



Alumínio e suas Ligas

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 caminhão, 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



Alumínio e suas Ligas

Ligas de Alumínio Tratáveis Termicamente

Série 2XXX (Al-Cu-Mg): Ligas que têm o cobre como principal elemento de liga. Podem apresentar corrosão intergranular e, para minimizar este problema são utilizados, no caso de chapas, revestimentos superficiais de alumínio (*clad*), que conferem uma proteção galvânica a essas ligas. A liga AA2024 foi por muito tempo o material padrão para partes como a fuselagem e a cobertura das asas de aviões, nas quais é necessária a combinação de tenacidade à fratura e resistência à fadiga.

Série 6XXX (Al-Mg-Si): Consideradas de média resistência, contêm magnésio e silício como principais elementos de liga. Apresentam como vantagens adicionais a soldabilidade e resistência à corrosão. Além disso, as ligas da série 6XXX apresentam alta tenacidade à fratura, permitindo que trincas longas cresçam antes da ocorrência de fratura catastrófica, facilitando a inspeção não destrutiva com vistas à sua detecção. A liga AA6061 é uma das mais usadas desse grupo, sendo das mais versáteis entre as tratáveis termicamente. A liga AA6351, amplamente empregada nas indústrias automotiva, aeronáutica e de defesa, vem sendo objeto de estudos no desenvolvimento do processo de soldagem *Friction Stir Welding*.

Série 7XXX (Al-Mg-Zn): São ligas de alta resistência mecânica, apresentando zinco e magnésio como principais elementos de liga. Os teores de zinco podem variar na faixa de 3 a 7% e magnésio de 0,8 a 3%. Outros elementos de liga, como cromo, manganês e zircônio, podem ser adicionados em pequenas quantidades (0,1 a 0,3%), com o objetivo de controlar a estrutura de grãos durante a fabricação e tratamento térmico e melhorar a soldabilidade. Na indústria aeronáutica, as ligas deste grupo são empregadas em revestimentos de fuselagem e asas, cavernas usinadas e conformadas, longarinas, nervuras e reforçadores. Dentre elas, as mais importantes são as ligas AA7050 e AA7475.



Alumínio e suas Ligas

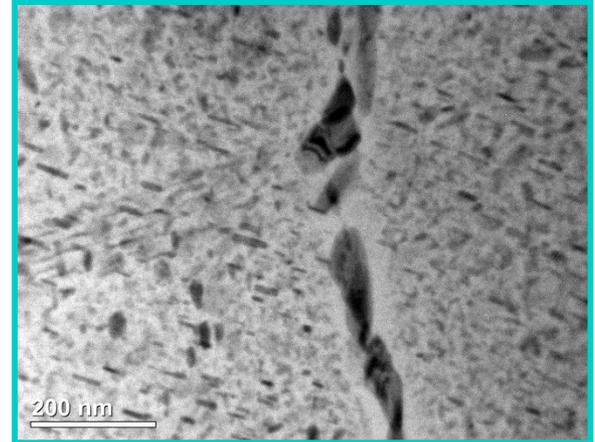
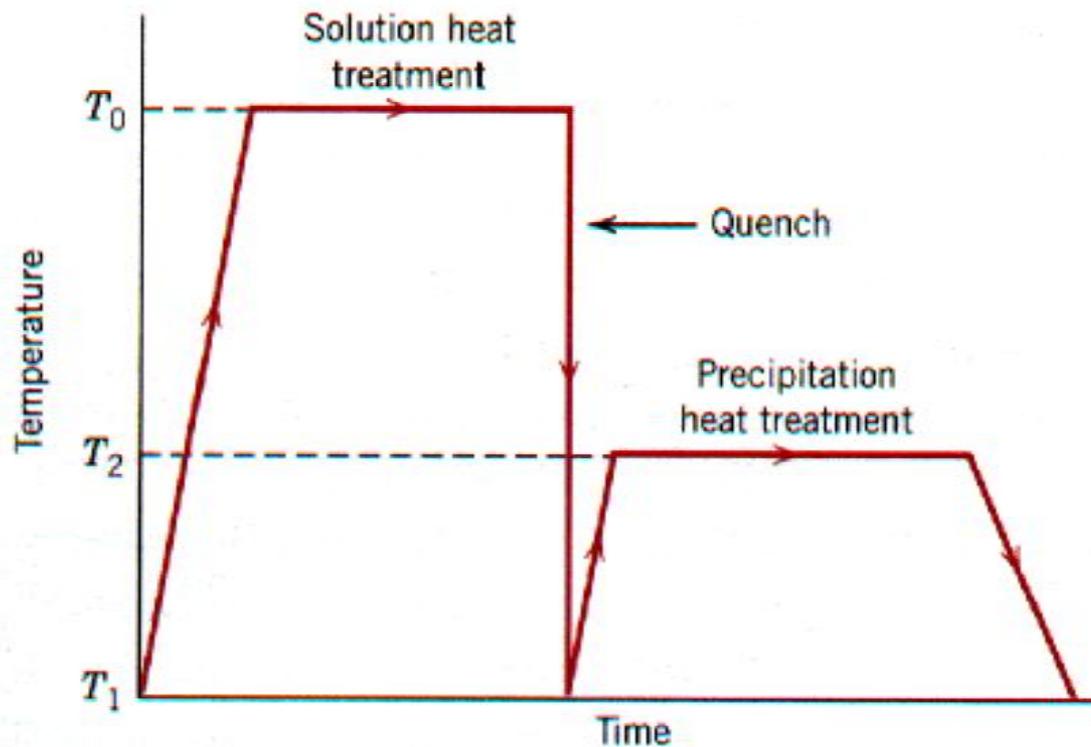
Tratamentos térmicos das Ligas de Alumínio

- Alívio de tensões:
 - T= 130-150°C
 - Tempo depende da espessura da peça.
- Recozimento p/ recristalização e homogeneização:
 - T= 300-400°C
 - Recristalização: para ligas laminadas, extrudadas
 - Homogeneização: peças fundidas (para difundir os microconstituintes).
- Solubilização:
 - Dissolve as fases microscópicas.
 - Temperatura depende da liga.
- Envelhecimento:
 - Consiste na precipitação de outra fase, na forma de partículas extremamente pequenas e uniformemente distribuídas, tornando a liga mais dura e resistente.
 - O envelhecimento pode ser natural ou artificial

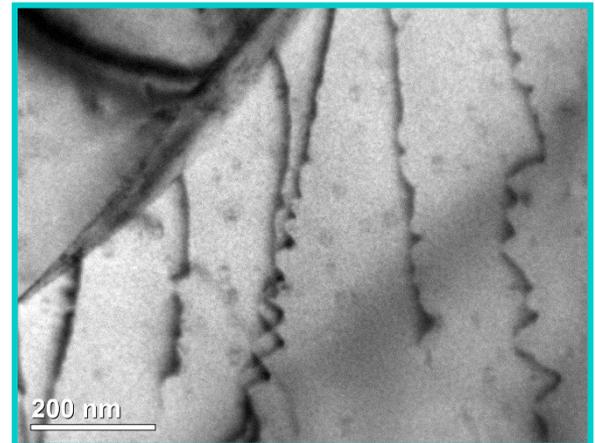


Alumínio e suas Ligas

Solubilização e Envelhecimento



Precipitados endurecedores de $MgZn_2$ em liga AA 7050-T7451

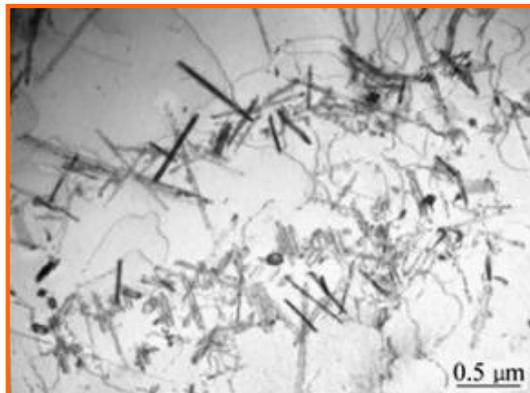
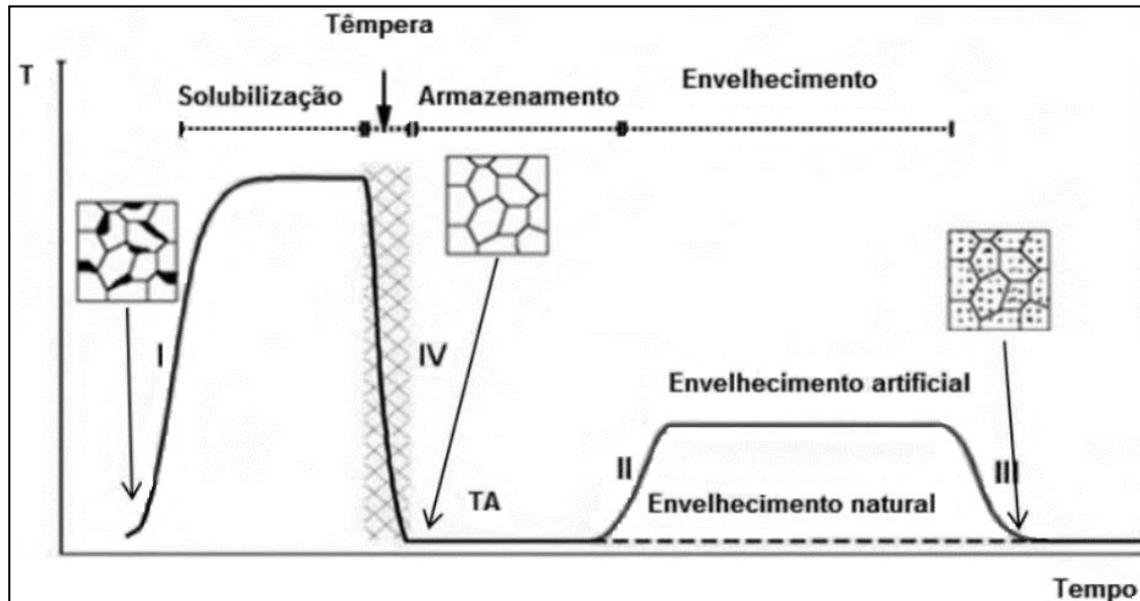


Ancoragem de linhas de discordância pelos precipitados



Alumínio e suas Ligas

Ligas de Alumínio Tratáveis Termicamente



Interação entre discordâncias e precipitados de Mg_2Si sob carregamento cíclico ($\sigma_a = 115 \text{ MPa}$)

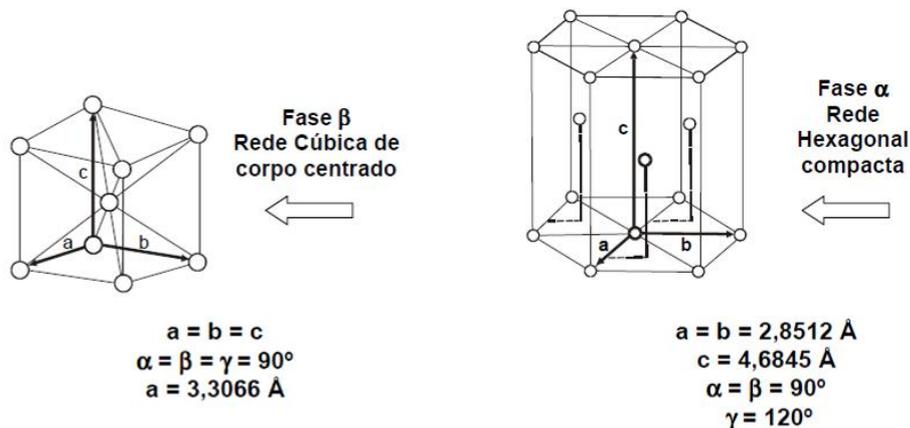


Titânio e suas Ligas

Introdução

Até há pouco tempo, metais como o titânio (Ti) e o zircônio (Zr) eram considerados metais raros, quase como curiosidade de laboratório. O uso industrial desses e outros metais do grupo especial começou a partir da segunda metade do século XX. Atualmente estão presentes em diversas aplicações, embora seus preços ainda sejam extremamente elevados (mais de $10 \times$ o preço do aço).

Na temperatura ambiente, o titânio puro apresenta-se na fase alfa (α) com estrutura cristalina hexagonal compacta (HC), que se transforma alotropicamente na fase beta (β), cúbica de corpo centrado (CCC), a 882°C . As ligas de titânio podem ser classificadas como α , $\alpha+\beta$ e β em função da quantidade de elementos de liga na composição. Existem também as ligas classificadas como próximo de α (*near- α*) e as ligas classificadas como próximo de β (*near- β*). Os elementos estabilizadores da fase α são Al, O, N e C e os estabilizadores da fase β classificam-se como isomorfos (Mo, V, Nb, Ta e W) e eutetóides (Fe, Cr, Si, Ni, Co, Cu e Mn).



Titânio e suas Ligas

Características do Titânio

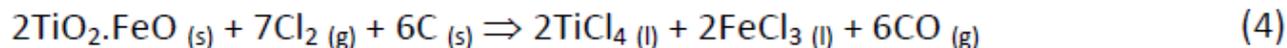
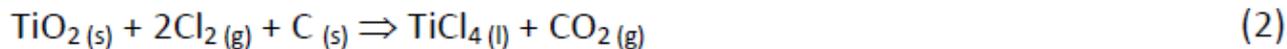
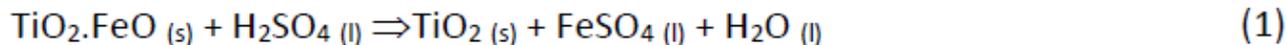
- O Titânio é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, ocupando aproximadamente 0,6% de sua composição.
- Possui baixa massa específica ($4,51 \text{ g/cm}^3$) intermediária entre o ferro e o alumínio.
- Ponto de fusão 1.668°C , Ponto de ebulição 3.260°C .
- É um metal não magnético e possui boas propriedades térmicas.
- Apresenta uma excepcional combinação de propriedades relacionando resistência mecânica, resistência à corrosão e biocompatibilidade.
- Devido ao custo elevado, sua utilização se restringe a casos extremos de serviços de alta corrosão, sendo empregado em tubulações, válvulas, trocadores de calor e como revestimento anticorrosivo em chapas de aço.
- Dentre as aplicações típicas, tem-se os reatores para síntese de ureia, condensadores de topo de usinas de fracionamento, equipamentos para serviços com cloretos, feixes tubulares para água salgada em condições severas de corrosão.



Titânio e suas Ligas

Obtenção do Titânio

Considera-se que o pastor e mineralogista inglês William Gregor foi o descobridor do titânio. Em 1790, ao examinar a areia preta, ele observou que se tratava da ilmenita ($\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$), que ao ser atacada com ácido sulfúrico formava o sulfato ferroso (marrom avermelhado). Em 1825 Jons Jacob Berzelius acreditou haver isolado o titânio, mas verificou que ainda não era o metal puro. Em 1887 os pesquisadores suecos Sven Otto Pettersson e Lars Fredrick Nilson também obtiveram apenas o material impuro. Em 1910 Matthew A. Hunter obteve o Titânio com 90% de pureza por meio da redução de cloreto de sódio com o composto TiCl_4 em um recipiente de aço sob pressão. As reações envolvidas estão descritas pelas equações (1) a (3). Por volta de 1937, Wilhelm J. Kroll junto com a Siemens e Helska desenvolveram um processo para obtenção consistente de composto de titânio através da redução de tetracloreto de titânio com pó de magnésio, em uma atmosfera de argônio, a fim de se evitar a oxidação, conforme mostram as equações (4) e (5).



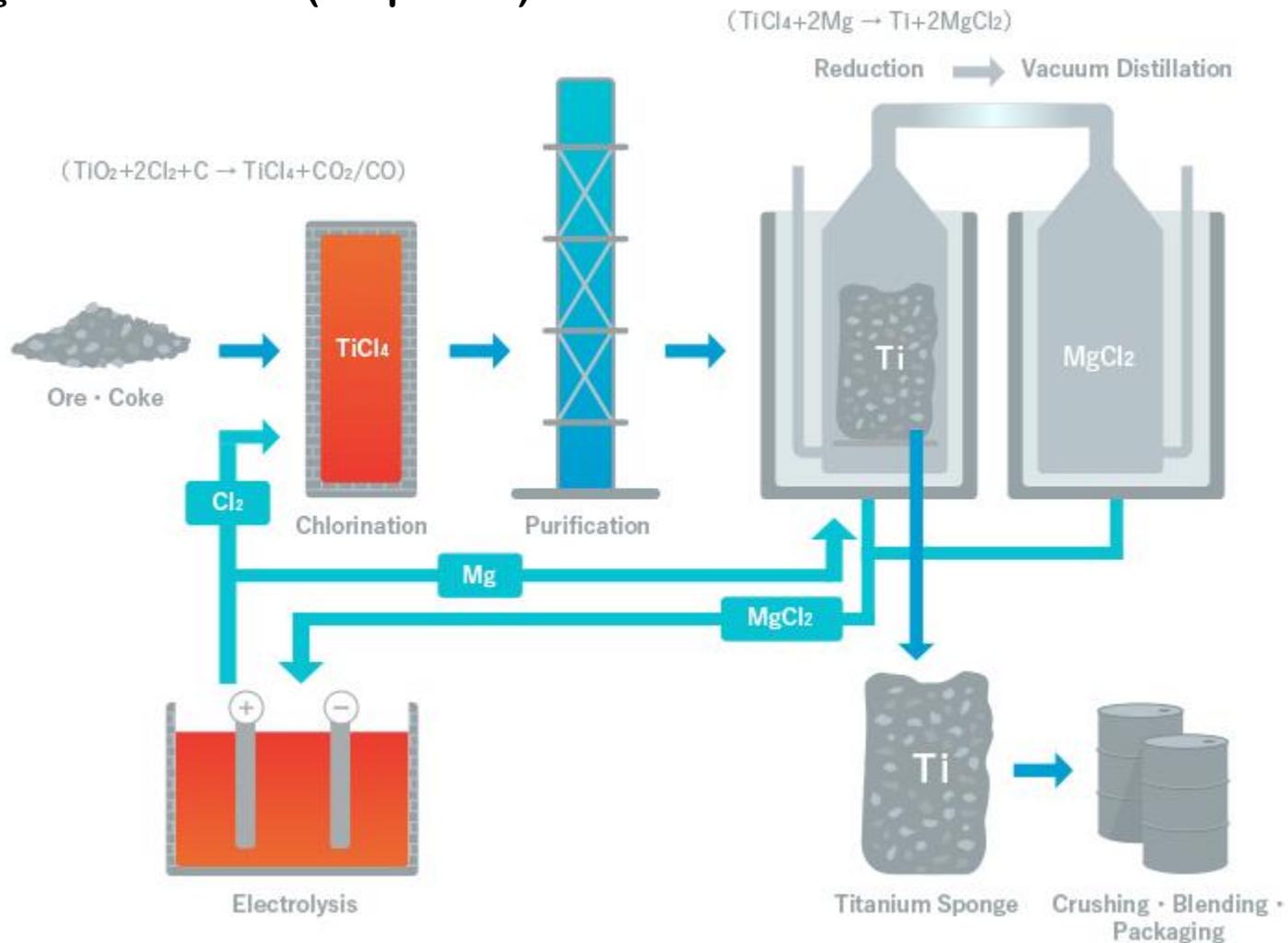
Titânio e suas Ligas

Obtenção do Titânio (vídeo)



Titânio e suas Ligas

Obtenção do Titânio (esquema)



Titânio e suas Ligas

Obtenção do Titânio



Esponja de Titânio

Lingotes de titânio produzidos por VAR (Vacuum Arc Remelting) com tripla fusão.



Titânio e suas Ligas

Resistência Mecânica e limite de impurezas

ASTM Grau	Limite de Resistência [MPa]	Limite de Escoamento [MPa]	O	Fe	H	N	C
1	240	170	0,18	0,20	0,015	0,03	0,10
2	340	280	0,25	0,30	0,015	0,03	0,10
3	450	380	0,35	0,30	0,015	0,05	0,10
4	850	480	0,40	0,50	0,015	0,05	0,10



Titânio e suas Ligas

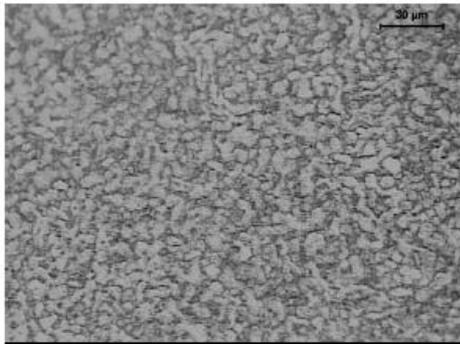
TABELA 3.22 Ligas de titânio

LIGAS DE TITÂNIO ALFA (α)	LIGAS DE TITÂNIO ALFA + BETA ($\alpha + \beta$)	LIGAS DE TITÂNIO BETA (β)
Ti-0,2Pb	Ti-6Al-4V	Ti-13V-11Cr-3Al
Ti-5Al-2,5Sn	Ti-8Mn	Ti-Al-8V-5Fe
Ti8Al-Mo-V	Ti-7Al-4Mo	
Ti6Al-2Co-Ta-Mo	Ti-4Al-3Mo-V	
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	Ti-3Al-2,5V	

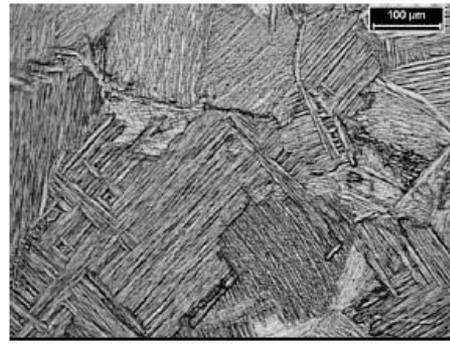


Exemplo: Efeito da Microestrutura na Fluência em Ti-6Al-4V

- Exemplo de aplicação para a liga Ti6Al4V, em duas condições microestruturais



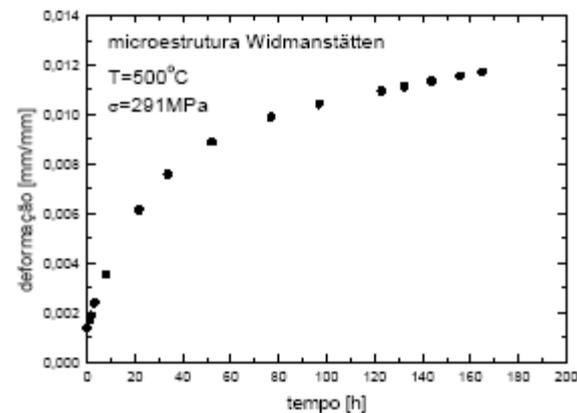
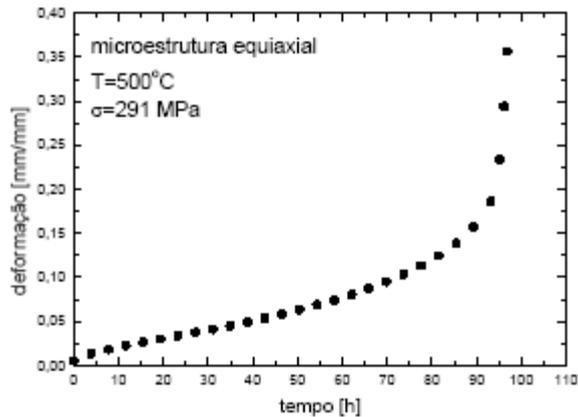
Equiaxial



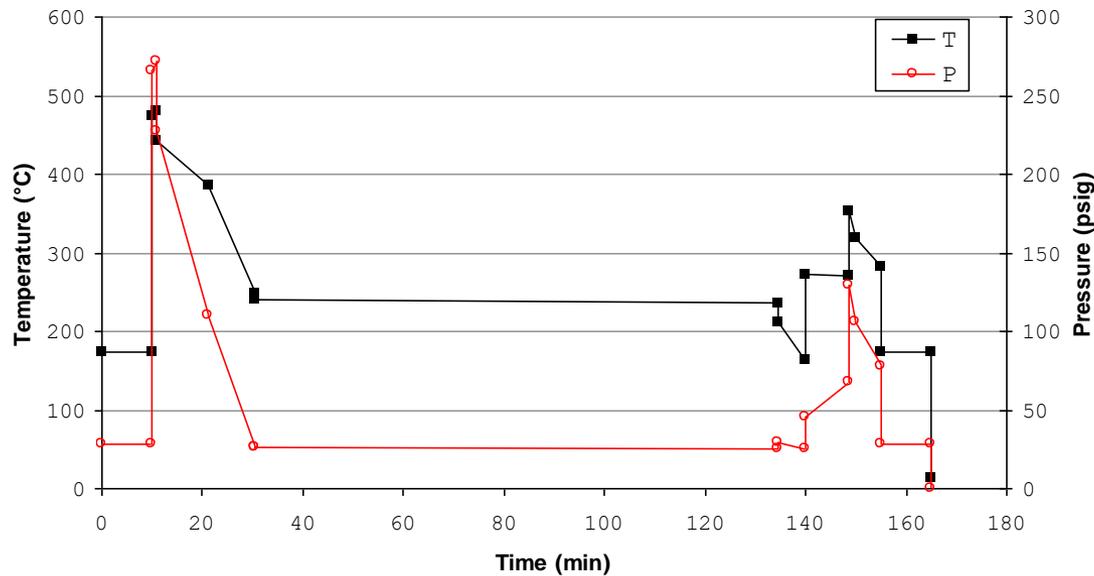
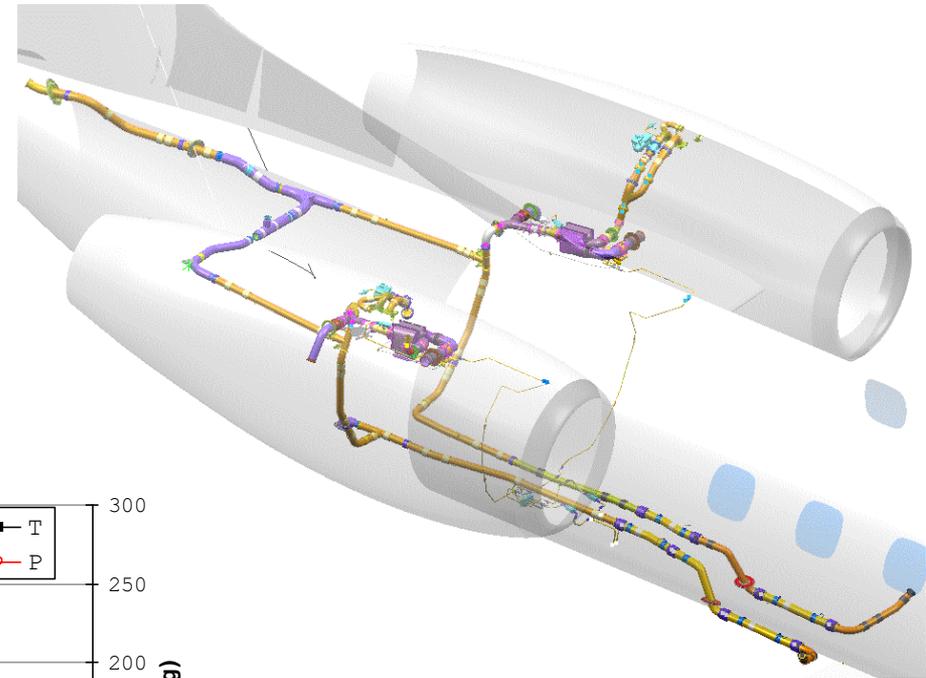
Widmanstätten

Resultados de ensaios a 500 e 600 °C:

T	σ (MPa)	Recozida		Widmanstätten	
		$\dot{\epsilon}_S$ (h^{-1})	t_R (h)	$\dot{\epsilon}_S$ (h^{-1})	t_R (h)
500	291	0,000948	96,790	$1,89 \times 10^{-5}$	-
	403	0,01583	7,798	0,00148	24,650
	472	0,08757	1,392	0,00351	11,850
600	97	0,00353	40,130	$9,05 \times 10^{-5}$	-
	208	0,07073	1,900	0,00362	18,578
	291	0,2808	0,370	0,03103	1,442



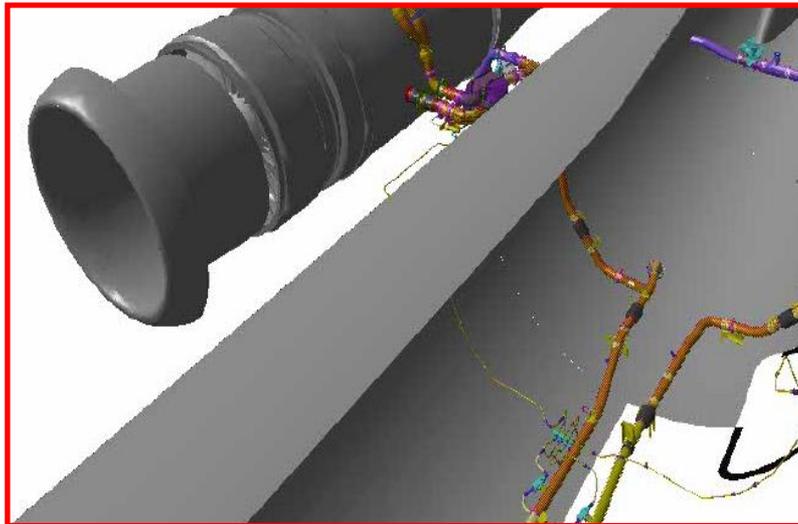
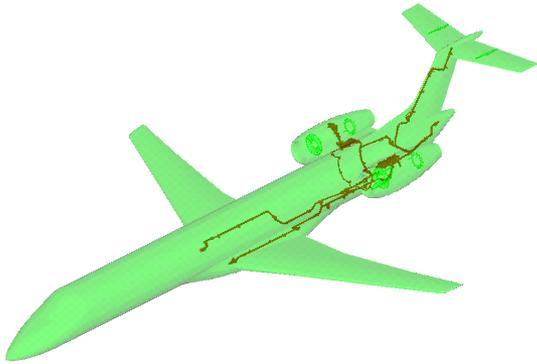
Exemplo: Dutos de Sistemas Pneumáticos de Aviões



Perna de vôo

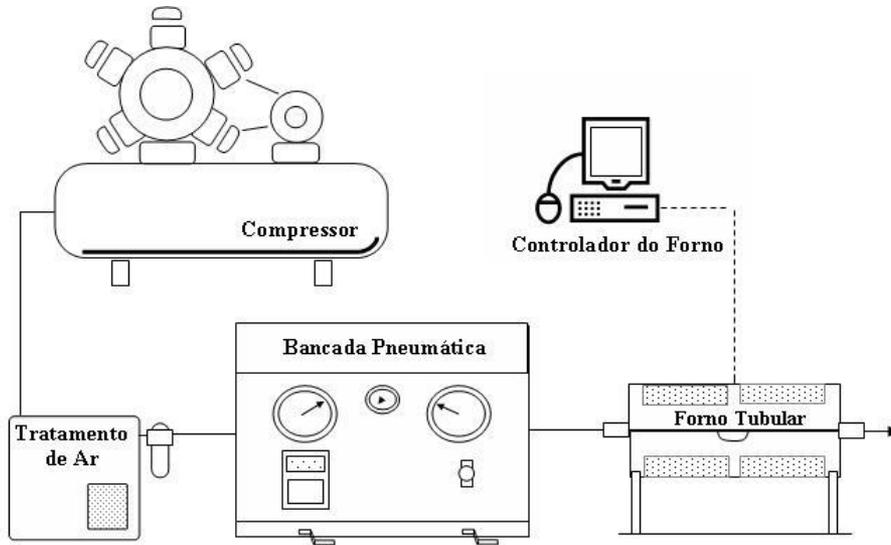


Exemplo: Falhas em Dutos de Titânio

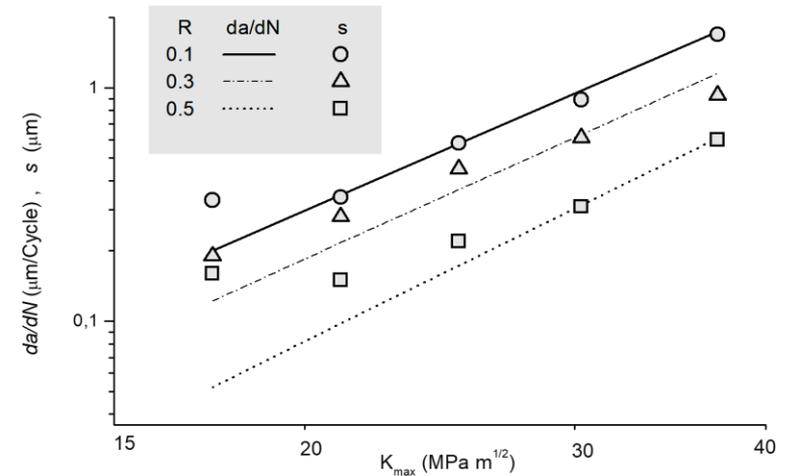
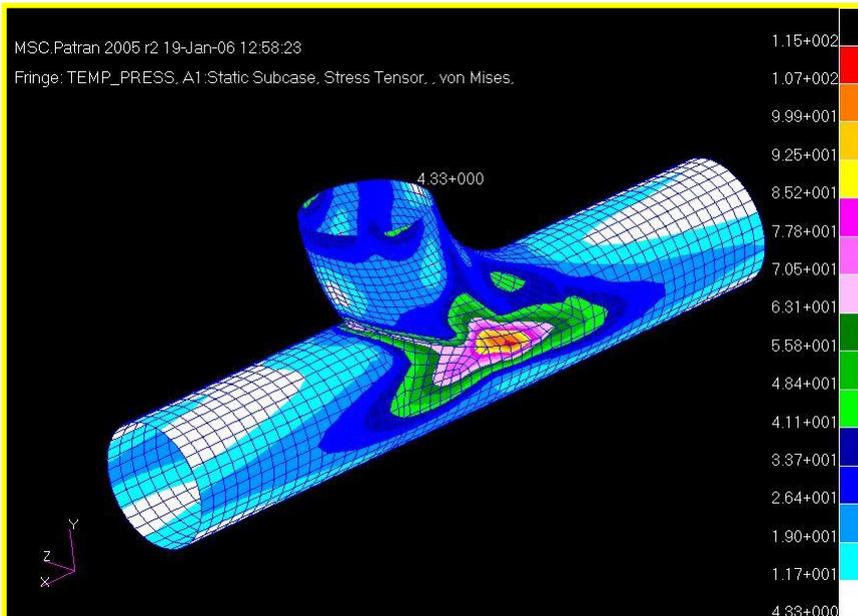
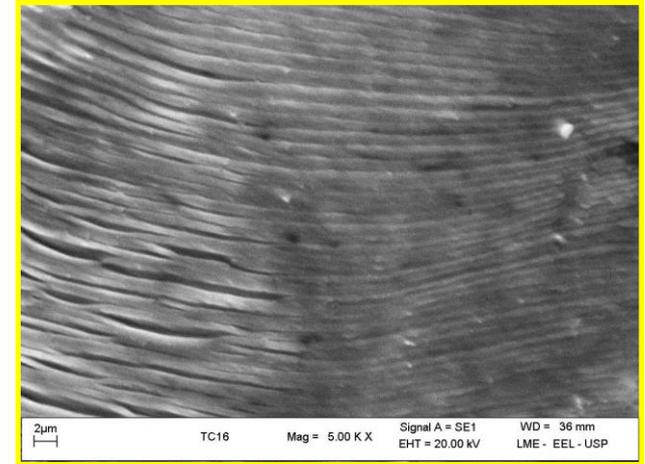


Exemplo de tubo falhado em voo

Exemplo: Projeto e Montagem de uma Bancada Pneumática

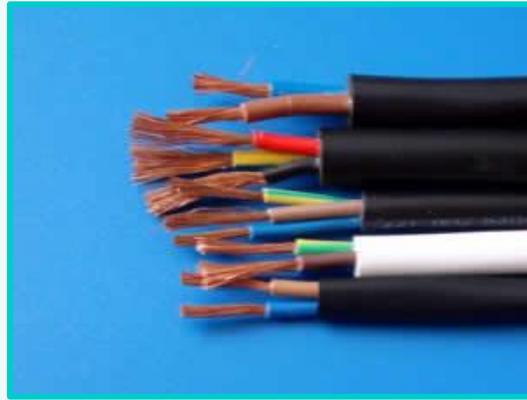


Exemplo: Análise de Duto falhado em ensaio na Bancada



Cobre e Ligas

- O nome do cobre deriva do termo latino “Aes Cyprium” (metal de Cipro), porque a ilha de Chipre foi uma das primeiras fontes desse metal. Posteriormente a denominação passou a ser “cuprum”, palavra que deu origem ao símbolo químico Cu.
- O cobre está entre os primeiros metais descobertos pelos seres humanos. É usado desde a antiguidade porque, ao contrário de outros metais, pode ocorrer na natureza tanto na forma de minérios como na forma metálica (cobre nativo).
- Relativamente pouco desse cobre metálico resta atualmente na natureza, e a maior parte do suprimento mundial é obtida a partir de minérios, entre os quais se destacam a calcopirita ($\text{Cu}_2\text{S}+\text{Fe}_2\text{S}_3$) e a calcosita (Cu_2S).
- É um metal relativamente escasso, havendo somente 0,007% de cobre na crosta terrestre. Assim, seu custo é alto em relação a outros metais mais abundantes.



Cobre e Ligas

Características do Cobre

- O cobre é normalmente usado em sua forma pura, mas também pode ser combinado com outros metais para produzir uma enorme variedade de ligas.
- O cobre e suas ligas constituem o terceiro metal mais utilizado do mundo, perdendo apenas para os aços e ligas de alumínio.
- Caracteriza-se pela elevada condutividade elétrica e térmica e pela facilidade de fabricação.
- O cobre e suas ligas são geralmente não magnéticos.
- Massa específica $8,94 \text{ g/cm}^3$, é muito dúctil e resistente à corrosão.
- Ponto de fusão 1.083°C .
- É um oligoelemento, essencial para os seres vivos, encontrado em baixa concentração, mas de fundamental importância biológica.

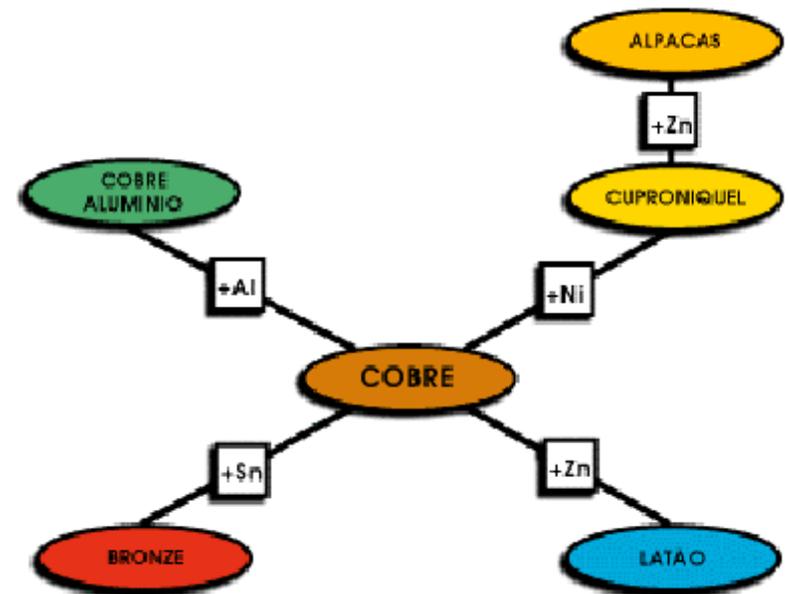


Radiador de cobre industrial (tipo de trocador de calor destinado à troca térmica entre um gás, geralmente o ar, e outro fluido, líquido ou gasoso)



Ligas de Cobre

- **Latões (ligas Cu-Zn):** Podem conter até 45% de zinco. Os elementos Al, Sn, Si, Fe, Mn, Ni, As, P e Pb são usuais neste tipo de liga. Al aumenta a resistência à corrosão. Sn e Si melhoram propriedades de deformação. Fe e Mn são adicionados para refinar o grão. Latões são utilizados em um grande campo de aplicação, com destaques em peças de uso naval, mancais, cartuchos, parafusos.
- **Bronzes (ligas de Cu-Sn):** Formadas por cobre e estanho, o teor de Sn pode chegar a 20%. Os bronzes de estanho têm maior resistência mecânica que o latão, e melhor resistência à corrosão. Entretanto, têm preço mais elevado que as ligas Cu-Zn. Utilizadas em tubos flexíveis, torneiras, varetas de soldagem, válvulas, buchas e engrenagens, entre outras aplicações.
- **Cobre-níquel:** Conhecidas como cuproníquel, o conteúdo de níquel pode variar de 10% a 30%. Usadas em feixes tubulares de aparelhos de troca de calor onde circula água salgada ou outras águas agressivas.
- **Ligas de Cobre-níquel-zinco:** As ligas que normalmente contém entre 45% a 70% Cu, de 10% a 18% Ni e o restante constituído por Zn recebem o nome de alpacas. Por sua coloração, são facilmente confundidas com a prata. Usadas em chaves, equipamentos de telecomunicações, decoração, relojoaria e componentes de aparelhos óticos e fotográficos, entre outras aplicações.
- **Ligas de Cobre-alumínio:** Usadas em peças para embarcações, trocadores de calor, evaporadores, soluções ácidas ou salinas.



FIM do Capítulo 3

