

LIGAS DE ALUMINIO

PROPRIEDADES E APLICAÇÕES



Tiago Alexandre nrº 22597

Aluminio

- O alumínio é um elemento que constitui 8% da crosta da terra e é normalmente encontrado na forma (Al_2O_3).ie bauxite, kaolinite, nepheline e alunite.

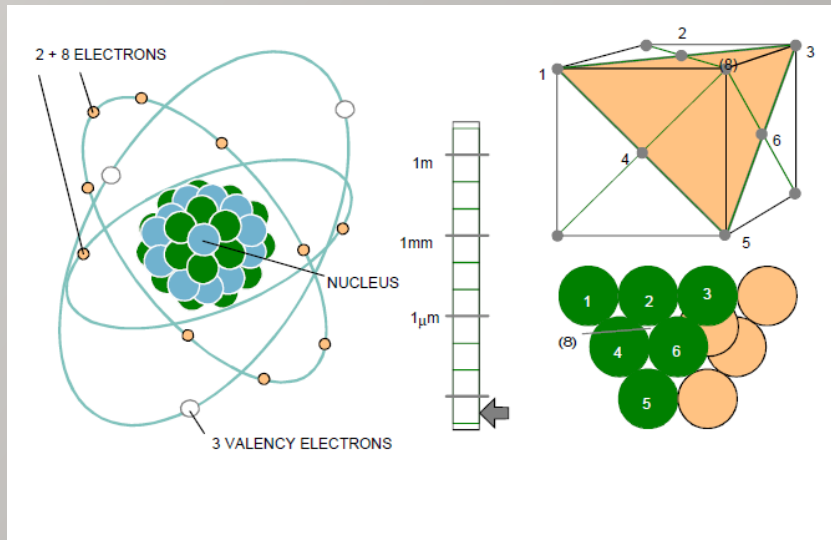


Propriedades

- ◉ O alumínio é o metal e terceiro elemento mais abundante a nível mundial e está presente numa grande diversidade de indústrias e segmentos devido às suas propriedades, nomeadamente:
 - densidade de 2.68g/cm^3 , que lhe confere uma boa relação massa/volume garantindo um melhor transporte em relação a outros metais que possam ser utilizados para fazer embalagens. A sua baixa densidade associada à sua resistência mecânica garante um material a ter em conta na indústria automóvel e aeroespacial porque garante um bom desempenho e um baixo consumo de combustível.
 - tem uma boa condutividade eléctrica que permite que seja usado na transmissão de energia através de cabos e fios, é também utilizado em aplicações de aquecimento e arrefecimento.
 - a sua boa maleabilidade garante que possa ser utilizado em vários objectos, podendo ser deformado e conformado com relativa facilidade.
 - tem uma boa resistência à corrosão o que lhe permite que seja utilizado em portas, janelas e revestimentos usados na indústria civil garantindo a sua conservação e fácil manutenção. Nas embalagens garante a higiene dos produtos e é uma barreira à contaminação.
 - tem uma grande variedade de acabamentos, como anodização e pintura o que aumenta a sua resistência à corrosão.
 - é reciclável, o que garante uma reutilização e recuperação de grande parte do investimento inicial, beneficiando o ambiente por uma menor produção de resíduos e menor utilização das matérias-primas.

Estrutura Atômica

- O elemento alumínio, símbolo químico Al, tem o número atômico 13. De acordo com conceitos actuais, isto significa que um átomo de alumínio é composto por 13 electrões, cada um possuindo uma carga eléctrica negativa, dispostos em três orbitas em torno de um núcleo altamente concentrado possuindo uma carga positiva de 13. Os três electrões na órbita externa dão ao átomo de alumínio um poder de valência ou químico combinado de três



13	Atomic Number	
Al	Symbol	
Aluminium		FCC
26.98154	Atomic Weight	
2 - 8 - 3	Electron Configuration	

Ligas de Alumínio

- As propriedades de um produto de alumínio em particular dependerá da liga escolhida. O termo refere-se a uma família de ligas. O conhecimento dessas ligas é a chave para o uso efetivo de alumínio.
- Os alumínios estão divididos em duas grandes classes:
 - os alumínios para enformação plástica (wrought aluminium alloys) que detêm 85% da produção mundial;
 - os restantes 15% pertencem aos alumínios para fundição (cast aluminium alloys).

Designação e nomenclatura das ligas e seus tratamentos

- As ligas de alumínio para trabalho mecânico são classificadas por um número de quatro dígitos que foi atribuído pela IADS (International Alloy Designation System) em que o primeiro dígito muda conforme o elemento de liga principal, como se pode ver na tabela. O segundo dígito está relacionado com modificações que foram feitas à liga, em que a original tem este dígito igual a 0 e as que sofrem modificação são numeradas de 1-9. Os últimos dois dígitos na série 1xxx estão relacionados com a pureza da liga, por exemplo, a liga 1145 tem uma pureza de 99,45% enquanto a 1200 tem uma pureza de 99%, para as outras ligas estes dígitos têm pouco significado e serve para identificar diferentes ligas de alumínio na série. Utiliza-se o prefixo X quando a liga está num estado experimental do seu desenvolvimento.
- As ligas de alumínio são divididas em dois grupos:
 - As tratáveis termicamente, em que estão incluídas as ligas das séries 2xxx, 6xxx, 7xxx e 8xxx
 - E as não tratáveis termicamente, em que estão incluídas as ligas das séries 1xxx, 3xxx, 4xxx e 5xxx

Aluminium Alloy Designation System (CEN)

		Major alloying element	Atoms in solution	Work hardening	Precipitation hardening	
WROUGHT ALLOYS*) EN AW-	1XXX	None (min. 99.00% Al)		X		Non-heat treatable alloys
	3XXX	Mn	X	X		
	4XXX	Si	X	X		
	5XXX	Mg	X	X		
	2XXX	Cu	X	(X)	X	Heat treatable alloys
	6XXX	Mg + Si	X	(X)	X	
	7XXX	Zn	X	(X)	X	
	8XXX	Other	X	(X)	X	

CASTING ALLOYS*) EN AB- EN AC- EN AM-	1XXX0	None (min. 99.00% Al)
	2XXX0	Cu
	4XXX0	Si
	5XXX0	Mg
	7XXX0	Zn
	8XXX0	Sn
	9XXX0	Master Alloys

*) letters preceding the alloy numbers have the following meaning
 EN = European Standard
 A = Aluminium
 B = Ingot
 C = Cast Alloy
 M = Master Alloy
 W = Wrought Alloy

◉ *Aluminium - Copper Alloys* 2xxx

- Geralmente, estas ligas têm limitada maleabilidade a frio, salvo na condição recozido, e menos resistência à corrosão do que outras ligas; são, portanto, geralmente anodizadas para proteção contra ambientes agressivos. São também mais difíceis de soldar. As ligas desta família são particularmente úteis para aplicações militares e em aeronaves.
- Com o cobre como elemento principal, estas ligas requerem um tratamento térmico da solução de maneira a alcançar melhores propriedades mecânicas, que podem exceder a do aço leve

◉ *Aluminium - Manganese Alloys* 3xxx

- A adição de aproximadamente 1% de manganês aumenta a resistência do material em cerca de 10 -15% em comparação com 1200, sem qualquer perda importante na ductilidade. Esta liga termicamente não-tratável geralmente encontra uma ampla aplicação onde é necessário uma força maior que 1200 sem qualquer perda importante na corrosão. Usos principais das ligas comuns nesta faixa incluem a folha de cobertura de telhados (3105 + 3103) e painéis de veículo (3103).

◉ *Aluminium - Silicon Alloys* 4xxx

- Silício pode ser adicionado às ligas de alumínio, em quantidades suficientes para causar uma redução substancial do ponto de fusão. Por esta razão, este sistema de liga é totalmente utilizado para arame de soldagem e de *brazing filler alloys*, em que os pontos de fusão mais baixos do que o metal original são requeridos. Estas ligas são termicamente não-tratáveis, mas em geral eles absorvem o suficiente dos constituintes da liga do metal original para responder a um grau limitado de tratamento térmico

◉ *Aluminium - Magnesium Alloys 5xxx*

- Esta série de ligas não é termicamente tratável e apresenta a melhor combinação de alta resistência com resistência à corrosão (como indicado pelo seu uso frequente em aplicações na água doce/mar). Esta série também apresenta boa soldabilidade, mas quando o nível de Mg excede 3% há uma tendência para a resistência à corrosão sob tensão seja reduzido, dependendo da tempera utilizada e temperatura de operação. Usos: vasos de pressão, veículos rodoviários e ferroviários, estruturas de navios, fábricas de produtos químicos.

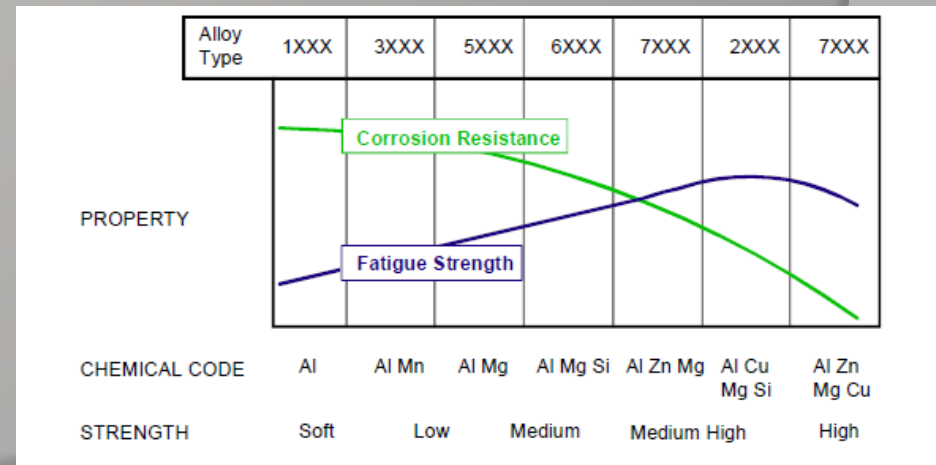
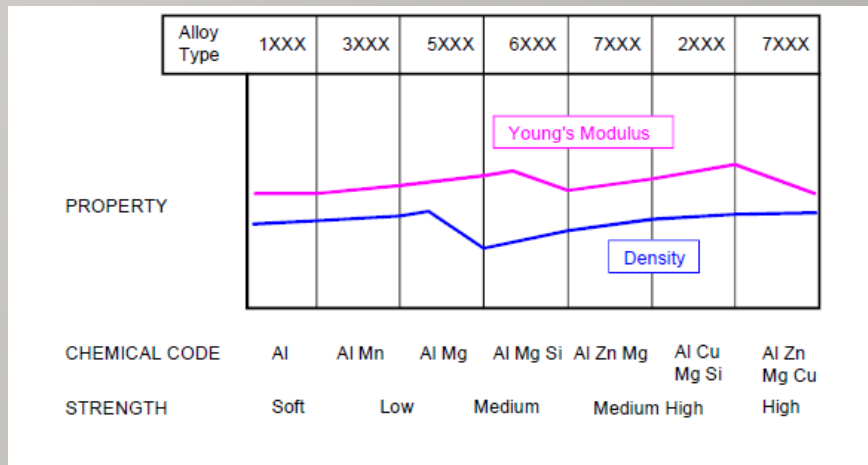
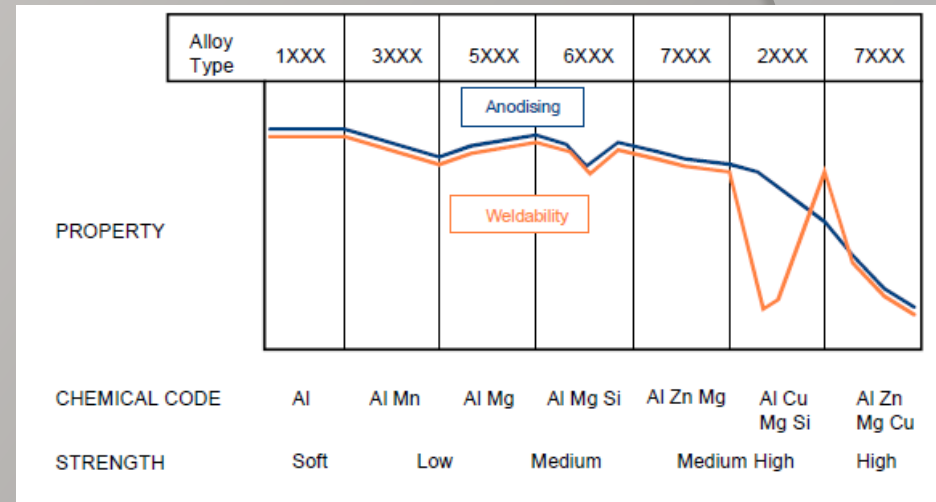
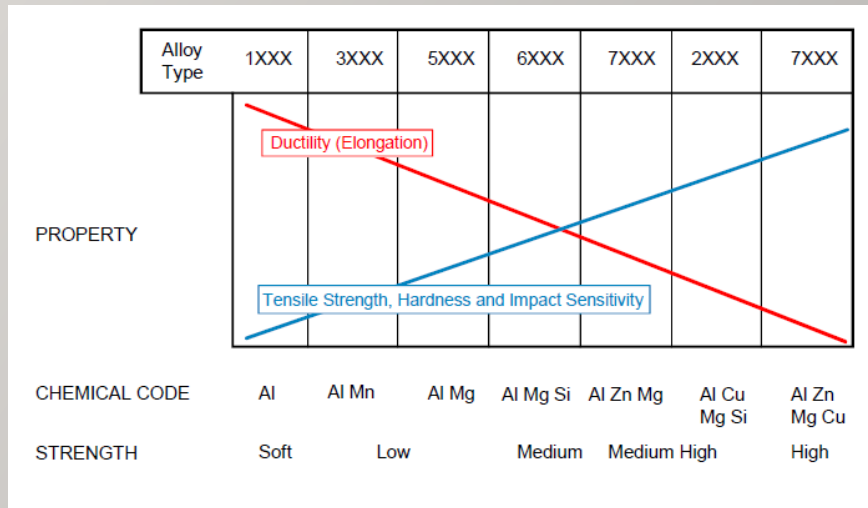
◉ *Aluminium - Magnesium - Silicon Alloys 6xxx*

- Este grupo de ligas termicamente tratáveis utiliza uma combinação de magnésio e silício (Silicida de magnésio) para torná-lo tratável termicamente. Estas ligas encontram a sua maior força, combinadas com uma boa resistência à corrosão, a facilidade de maleabilidade e excelente capacidade de ser anodizado. Ligas típicas deste grupo são 6061, 6063 e 6082 utilizadas para a construção de estruturas, e aplicações em transportes terrenos e marinhos.

◉ *Aluminium-Zinc-Magnesium and Aluminium-Zinc-Magnesium-Copper Alloys 7xxx*

- Este grupo de ligas apresenta a maior força no que diz respeito a alumínio, em vários casos são superiores aos aços de alta resistência. É a combinação de zinco e magnésio, que faz com que o 7XXX ligas termicamente tratáveis e dão origem à sua alta resistência. Este grupo de ligas é, no entanto, relativamente difícil de fabricar e requer um grau muito elevado de tecnologia para a sua produção. É principalmente utilizado em aplicações militares.

Efeitos das Ligas de Alumínio



Outros Elementos das Ligas

- ◉ Titânio (0,05-0,2%), Boro (até 0,1%)- Atua como refinador de grão, aumenta a resistência à tracção e à ductilidade, diminui a condutividade térmica.
- ◉ Ferro (0,05-1,2%)- Reduz a contração, atua como refinador de grão (excepto nas ligas de Silício), diminui a adesão à matriz de fundição sob pressão.
- ◉ Manganês – Reduz a contração. Atua como refinador de grão, nas ligas de Al-Cu e Al-Si melhora a resistência à tração a altas temperaturas, na presença de ferro pode ter o efeito contrário
- ◉ Níquel (0,5-3%) – Melhora a estabilidade dimensional, melhora a resistência em elevadas temperaturas, 5% de Ni produz alta contração.
- ◉ Zinco (0,5-3%) – Em combinação com o Mg produz alta resistência ao impacto, alta resistência à tração e excelente ductilidade, pequenos teores de Zn nas ligas Al-Cu melhora a maquinação, em altas concentrações produzem alta contração e fragilidade a quente.

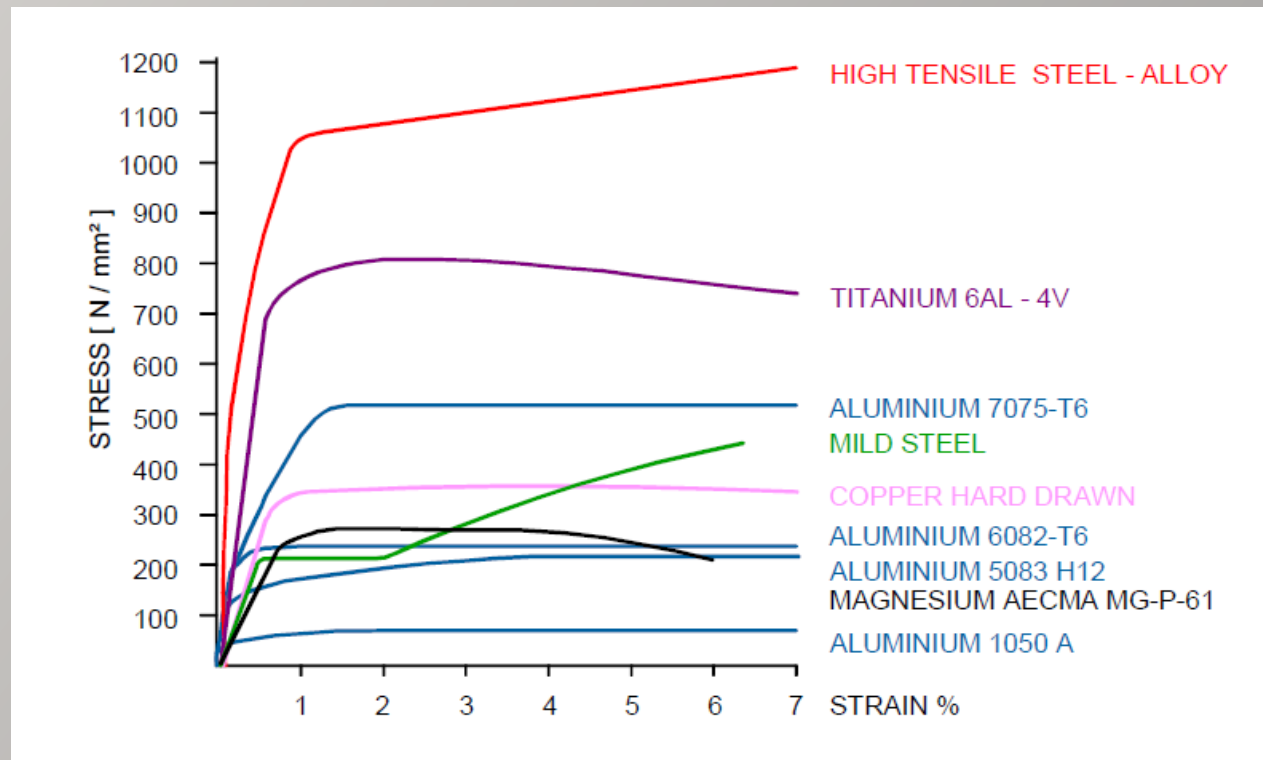
Tratamentos Térmicos e Mecânicos

- Existem quatro formas básicas em que o alumínio pode ser reforçado: *work hardening*, endurecimento por dispersão, endurecimento por solução sólida (solubilidade) e endurecimento por precipitação. Este processos são eficazes pois impedem o aparecimento de deslocamentos do cristais da estrutura do metal.
- As ligas tratadas por estes processos terão uma letra a indicar o processo a que foram sujeitas

XXXX	-F -O	as-fabricated annealed	
XXXX	-H1 -H2 -H3 -HX2 -HX4 -HX6 -HX8	Work-hardened only Work-hardened and partially annealed Work-hardened and stabilized by low temperature treatment Quarter-hard Half-hard Three-quarter-hard Fully-hard	NON-HEAT TREATABLE ALLOYS
		} Degree of cold working	
XXXX	-T2 -T4 -T5 -T6 -T8	Cooled from an elevated temperature and naturally aged Solution heat-treated and naturally aged Cooled from an elevated temperature shaping process and artificially aged Solution heat treated and artificially aged Solution heat-treated, cold worked and aged	HEAT TREATABLE ALLOYS

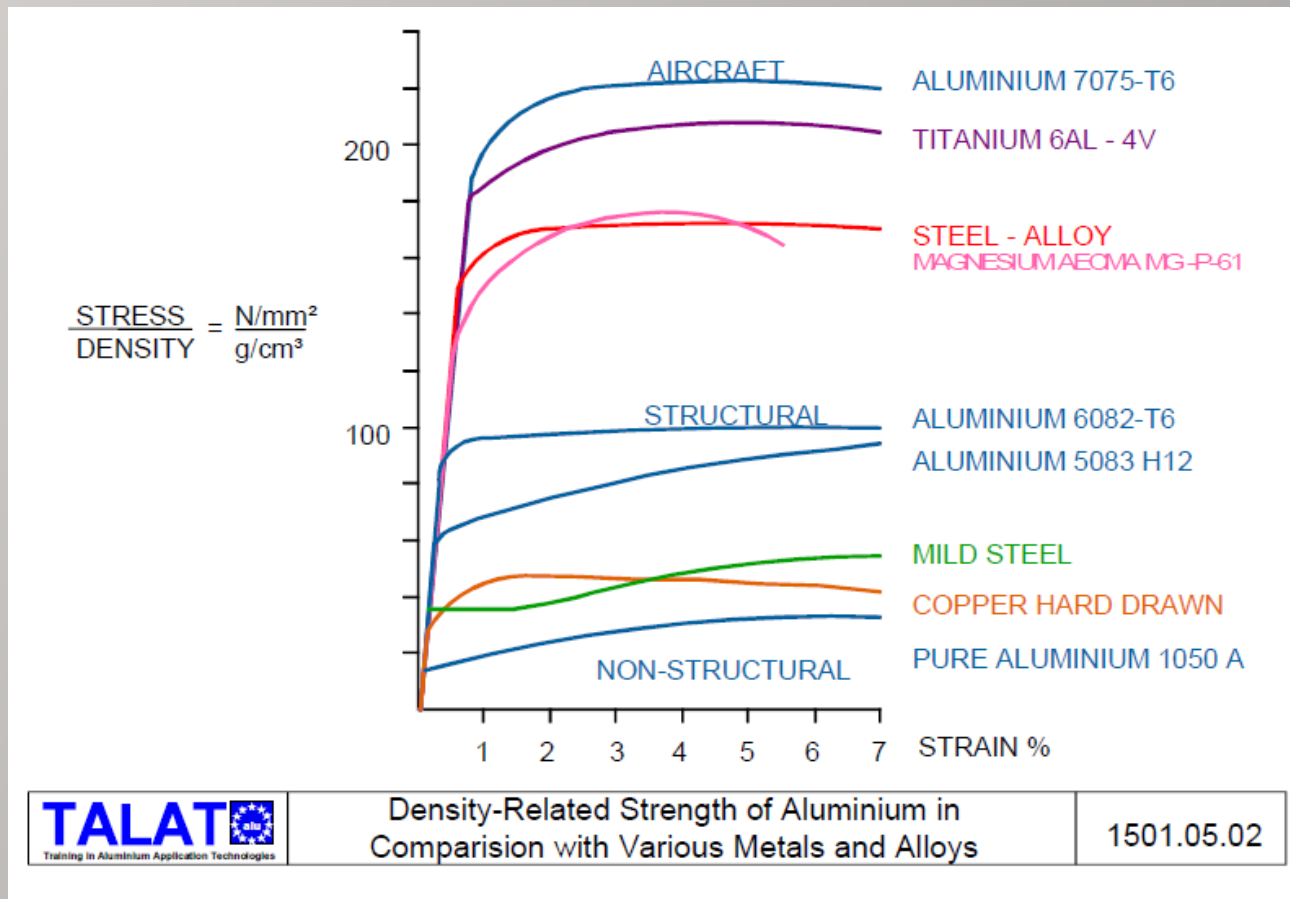
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio

● Resistência à Tracção



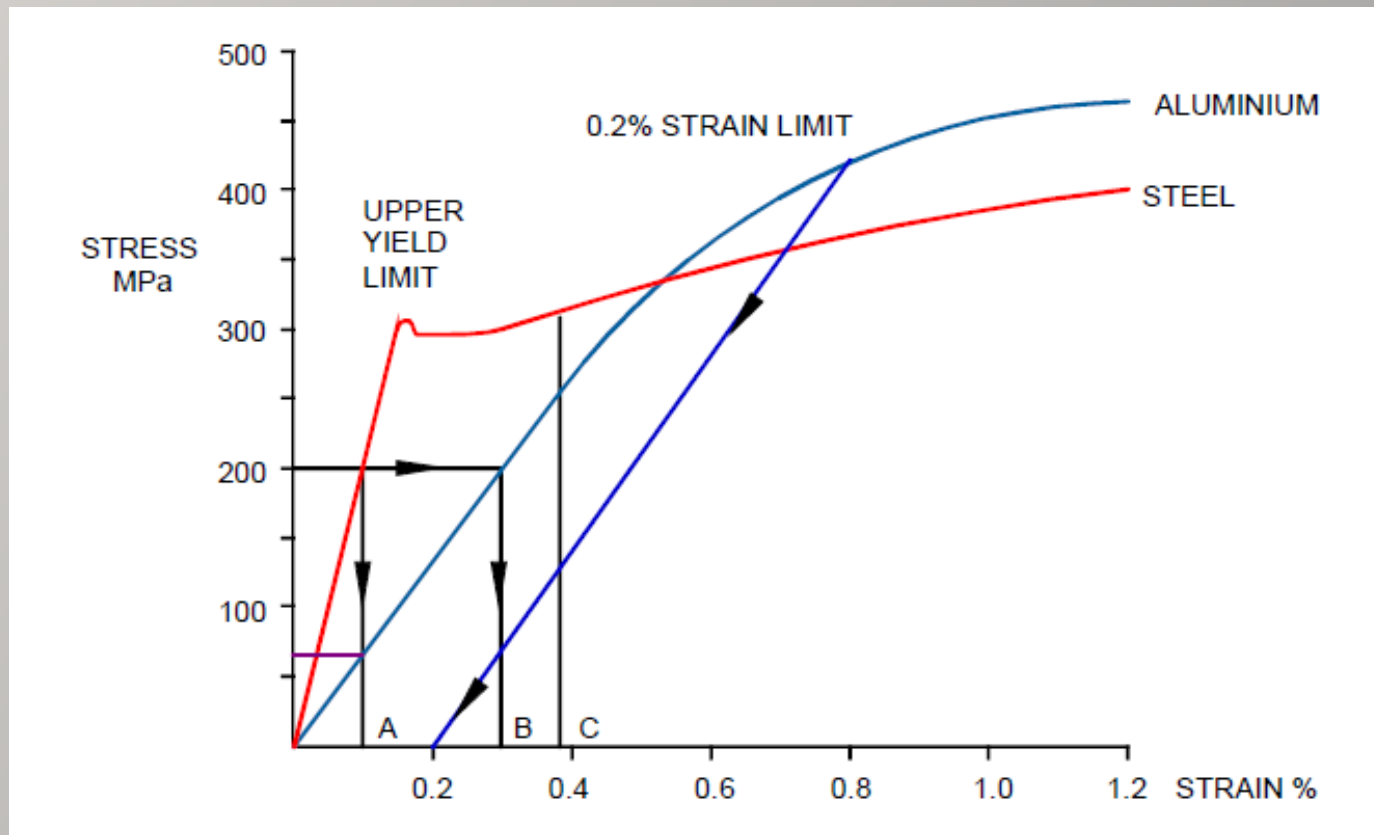
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio (1)

Resistência/Peso



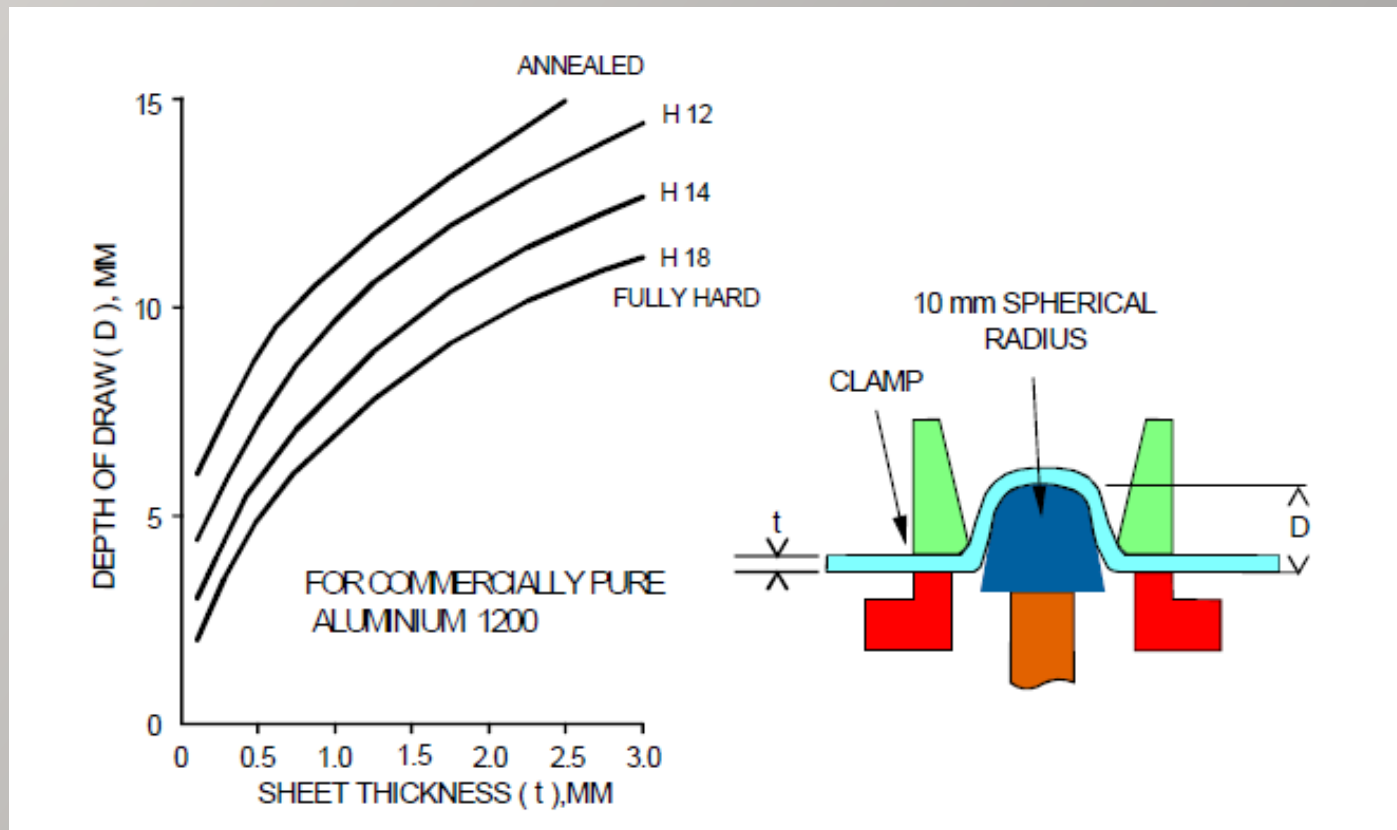
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio (2)

- Ponto de cedência



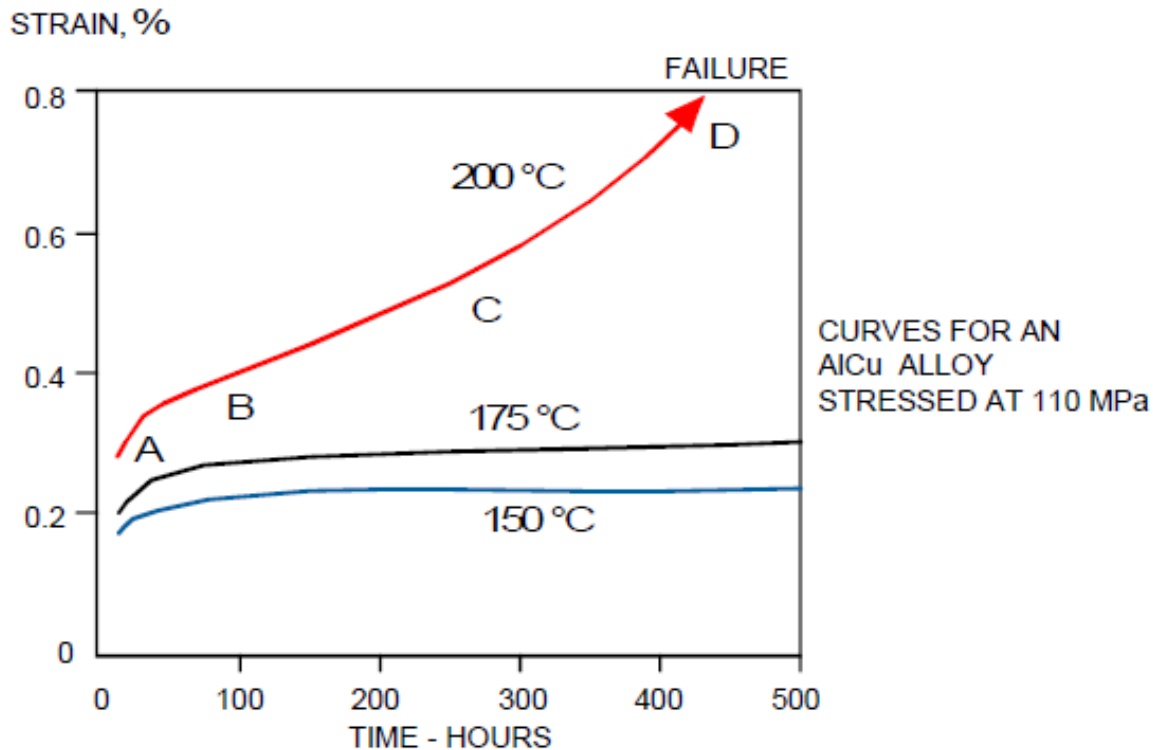
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio (3)

● Ductilidade



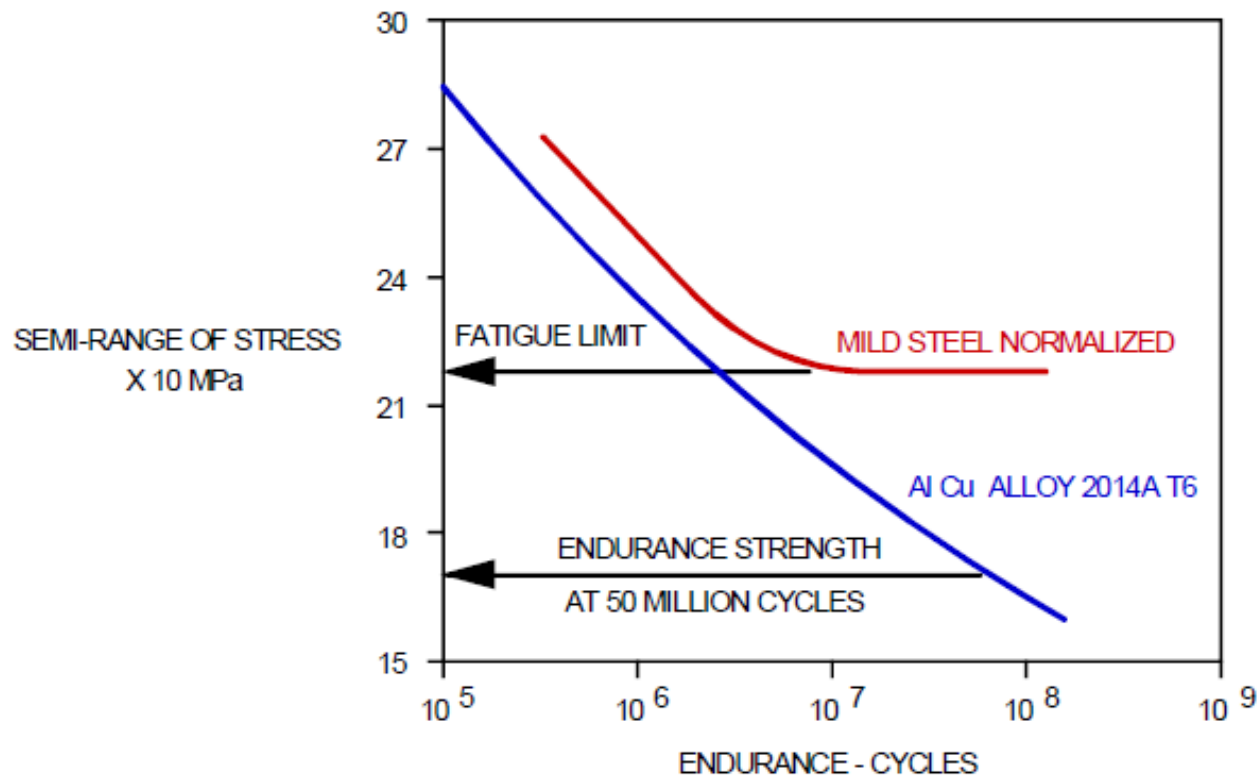
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio (4)

- Fluência



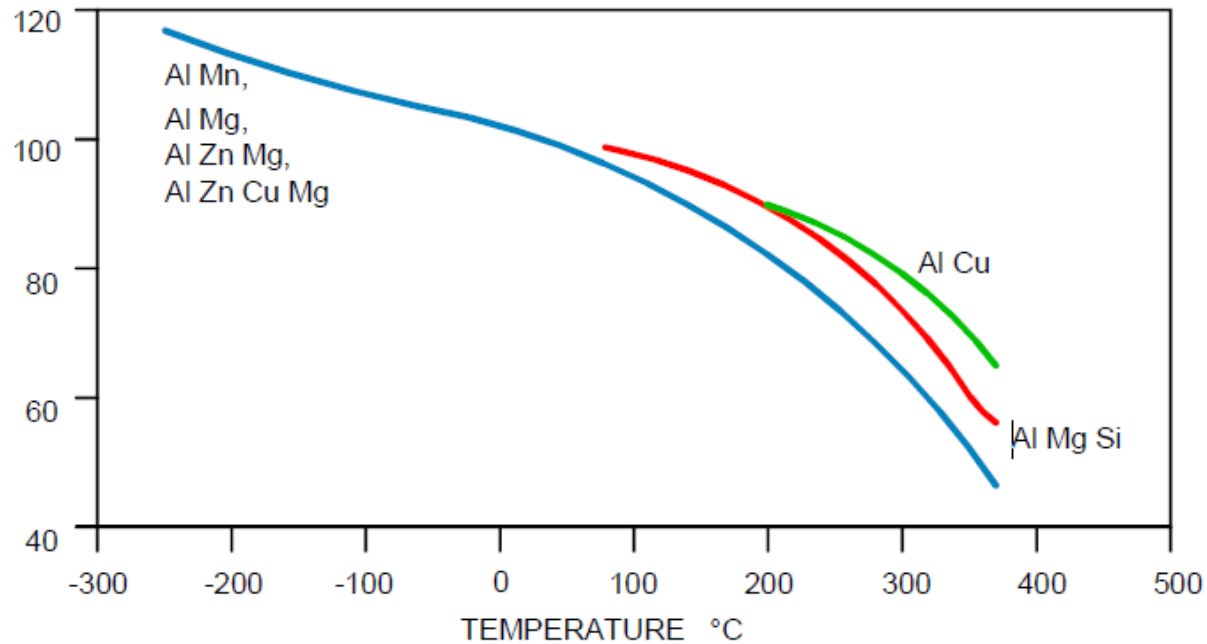
Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio (5)

- Fadiga



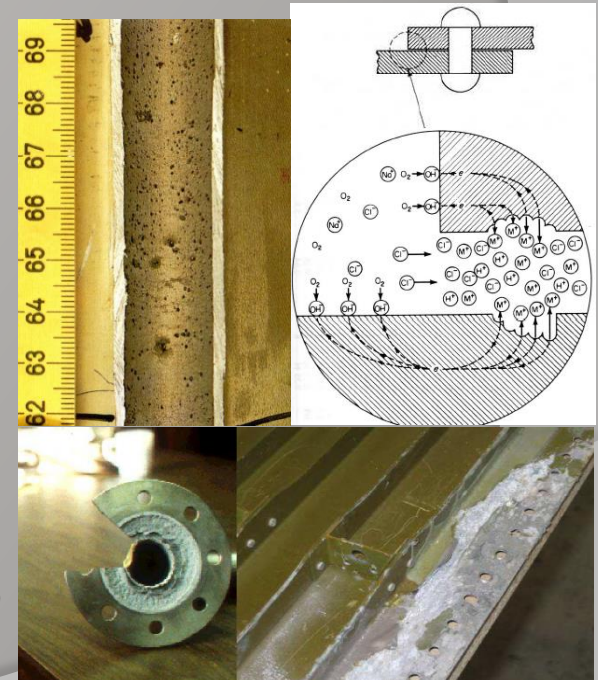
Propriedade a elevas Temperaturas

% of ROOM TEMPERATURE MODULUS



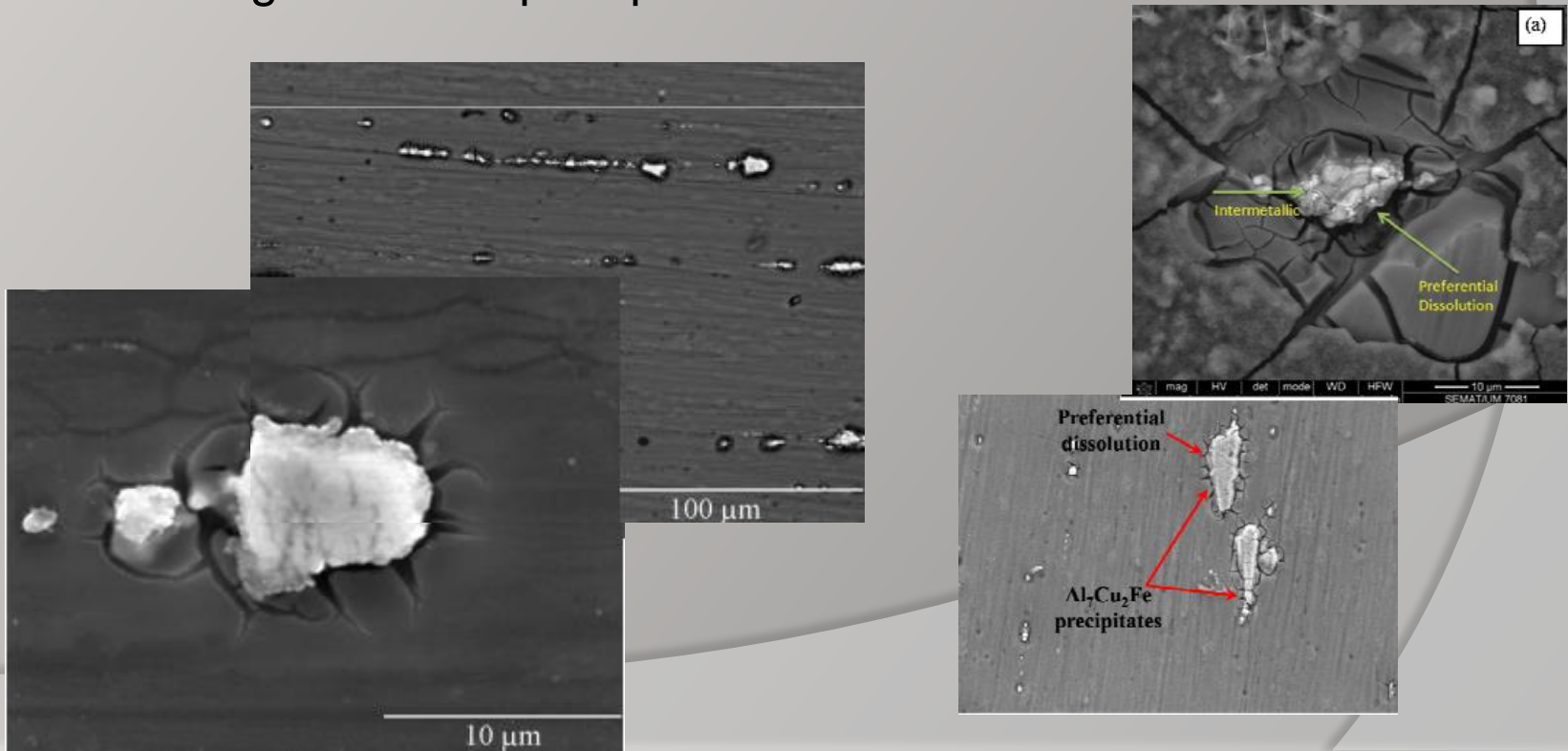
Corrosão

- O Alumínio é consideravelmente resistente à corrosão (passivo para $4 < \text{PH} < 8,5$), logo
 - não existe corrosão uniforme,
 - destruição localizada do filme protector – corrosão localizada
- Formas mais importantes de corrosão:
 - Corrosão por picadas (pitting)
 - Corrosão intersticial (crevice)
- Outras formas de corrosão
 - Corrosão filiforme (materiais pintados)
 - Corrosão intergranular (incluindo exfoliação)
 - Corrosão Galvânica
 - Corrosão por Correntes parasíticas
 - Corrosão/Erosão, Corrosão/Cavitação, Corrosão/Fricção
 - Corrosão sob Tensão, Corrosão-Fadiga



Corrosão

- Baixa solubilidade dos elementos
 - Formação de precipitados
 - Aumento da resistência mecânica/ ancoragem
 - Efeitos galvânicos precipitado/matriz- corrosão



Corrosão Galvânica

- Quanto mais separados na série maior a acção electroquímica quando colocados juntos.
- Quando existe a necessidade de colocar alumínio com um elemento que lhe é oposto na serie galvânica é necessario colocar entre eles um material não-condutor (isolante).

Série Galvânica de Ligas Comuns*

Anódica	Magnésio
	Ligas de magnésio
	Zinco
	Alumínio, 2S
	Cádmio
	Liga de alumínio 17S-T
	Aço carbono
	Aço ao cobre
	Ferro fundido
	Aço com 4 a 6% Cr
	Aço com 12 a 14% Cr
	Aço com 16 a 18% Cr
	Aço com 23 a 30% Cr
	Aço níquel
	Aço 7% Ni, 17% Cr
	Aço 8% Ni, 18% Cr
	Aço 14% Ni, 23% Cr
	Aço 20% Ni, 25% Cr
	Aço 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo
	Liga para solda estanho-chumbo
	Chumbo
	Estanho
	Níquel
	60% Ni, 15% Cr
	Inconel
	80% Ni, 20% Cr
	Latões
	Cobre
	Bronzes
	Níquel-prata
	Cobre-níquel
	Metal monel
	Níquel
	60% Ni, 15% Cr
	Inconel
	80% Ni, 20% Cr
	Aço 12 a 14% Cr
	Aço 16 a 18% Cr
	Aço 7% Ni, 17% Cr
	Aço 8% Ni, 18% Cr
	Aço 14% Ni, 23% Cr
	Aço 23 a 30% Cr
	Aço 20% Ni, 25% Cr
	Aço 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo
	Prata
Catódica	Grafita

*Ativa

*Ativa

*Ativa

*Passiva

*Passiva

Aplicações do Alumínio na Indústria Aeronáutica e Aeroespacial

- O Alumínio encabeça a lista por ser o material mais amplamente usado e em diferentes partes dos aparelhos, tais como asas, fuselagem, motores, trens, interiores e revestimento.
- Apesar de amplamente usado como material exclusivo na configuração de componentes, é também frequente encontra-lo combinado com outros maximizando a sua aplicação devido às suas propriedades únicas combinadas

- As ligas de alumínio das séries aeronáuticas (2XXX e 7XXX) possuem como características principais os elevados níveis de resistência mecânica que, aliadas a baixa densidade do metal e a facilidade de conformação e maquinação, transformam o alumínio em uma das melhores opções para a fabricação de dispositivos e estruturas aeronáuticas.



Alumínio Aeronáutico Série 2XXX

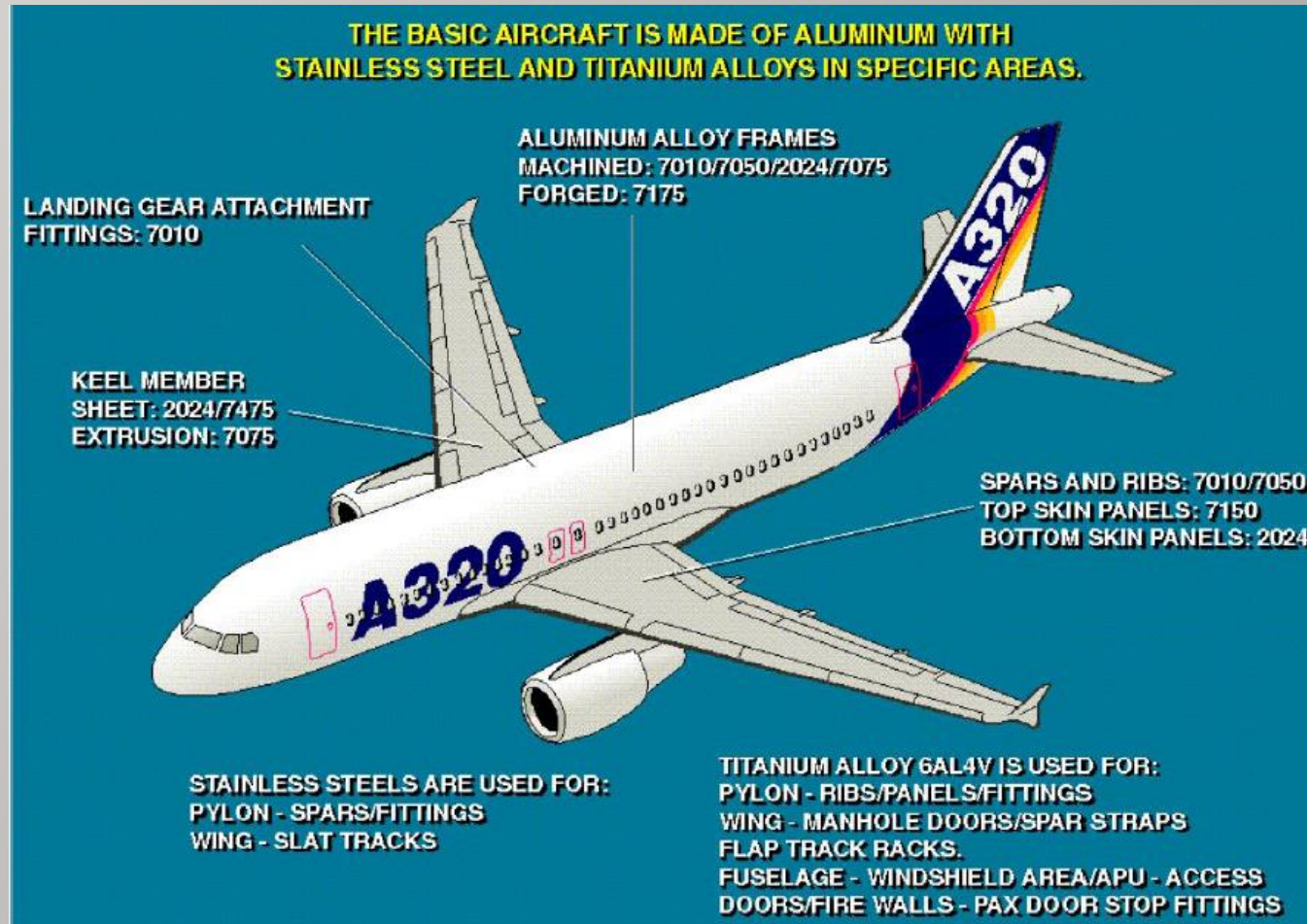
- As ligas de alumínio da série 2XXX são ligas com cobre 1,9-6,8% e muitas vezes contêm adições de manganês, magnésio e zinco. Obtém-se um endurecimento por precipitação, processo que tem sido amplamente estudado.
- Têm menores taxas de crescimento de contaminantes e, portanto, têm melhor desempenho em fadiga do que as ligas da série 7XXX. São utilizadas nas asas e na parte inferior da fuselagem.
- As ligas comumente utilizadas são 2224, 2324 e 2524 (ambas as versões modificadas de 2224). Estas ligas são geralmente compostas por 99,34% de alumínio puro para maior resistência à corrosão.

Alumínio Aeronáutico Série 7XXX

- ◉ O sistema Al-Zn-Mg oferece o maior potencial de endurecimento por precipitação (tratamentos térmicos) das ligas de alumínio.
- ◉ O cobre muitas vezes é adicionado para melhorar a resistência à corrosão sob tensão (com o inconveniente de reduzir a soldabilidade).
- ◉ A fissuração por corrosão tem sido o maior inconveniente no uso destas ligas.



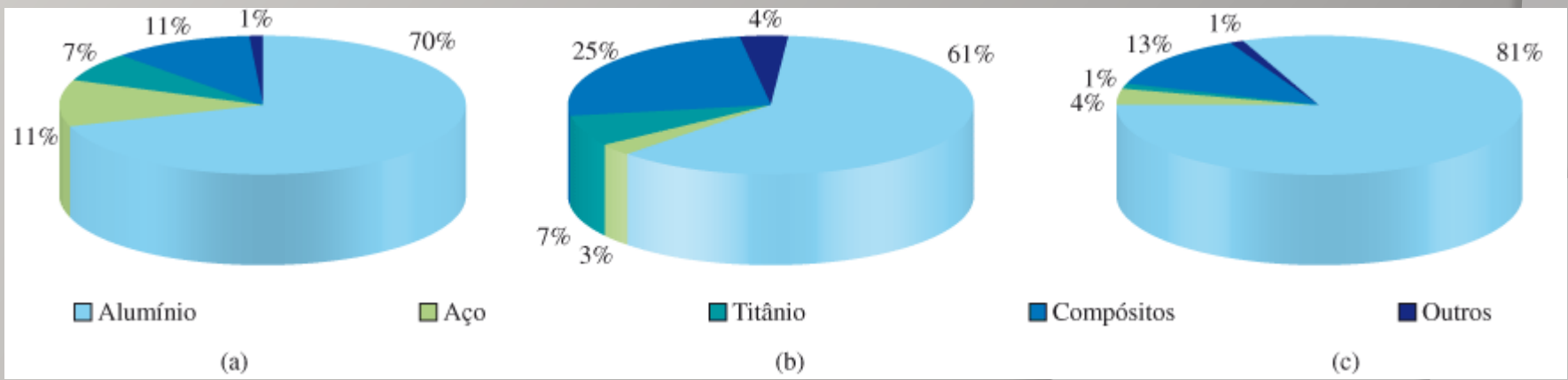
Exemplo de distribuição do alumínio no Airbus A320



Utilização do Al no setor aeronáutico e aeroespacial

- A indústria aeronáutica e espacial é a grande impulsionadora do desenvolvimento dos materiais, por necessitarem de componentes de baixa densidade e que atendam aos severos requisitos de resistência mecânica em serviço.
- A constante necessidade de redução de peso em aeronaves e estruturas espaciais tem continuamente impulsionado a tecnologia de processamento do alumínio.
- O uso de materiais compósitos (nomeadamente fibras de carbono e vidro), tem crescido no setor e nos últimos anos tem-se verificado uma substituição de alguns componentes, outrora fabricados em alumínio, pela utilização de compósitos.

- Este aumento de uso está associado à redução de peso, com maiores valores de resistências à fadiga e à corrosão, em relação ao alumínio, facilidade na obtenção de peças com geometrias complexas e flexibilidade de projeto na concepção de estruturas de forma integrada, reduzindo, assim, o número de componentes do aparelho.
- Atualmente os uso de materiais na industria aeronáutica e aeroespacial dispersa-se da seguinte forma ,3 exemplos dos maiores fabricantes:



Boeing 777

Airbus A380

Embraer 170

Respostas do setor Industrial do Alumínio

- O setor produtor de material, tem apostado fortemente no desenvolvimento e melhoria continua da aplicação do alumínio.
- Recentes estudos têm levado ao desenvolvimento de novas ligas, combinação de materiais ao nível microscópico (ligas compósitas de matriz metálica), combinação de materiais a nível macroscópico (sandwich compósita com alumínio)



Soluções de ligas avançadas e alumínio-lítio

- Recentemente Alcoa, anunciou uma solução que promete diminuir em 10% o peso da aeronave e em 30% os custos de manufatura e manutenção se comparadas às constituídas por materiais compósitos, como a fibra de carbono.
- Eric Roegner, presidente da Alcoa Forjados e Extrudidos, ressalta que *"o peso mais baixo e as tecnologias aerodinâmicas aumentarão a eficiência do combustível em até 12%, valor que chega a 27% quando se leva em conta os novos motores"*.
- Ligas avançadas e alumínio-lítio prometem uma densidade 7% inferior em aplicações estruturais e maior resistência à corrosão.
- Segundo a empresa, a nova liga trará melhorias de aerodinâmica para fuselagens , reduzindo o arrasto de superfície em até 6%.

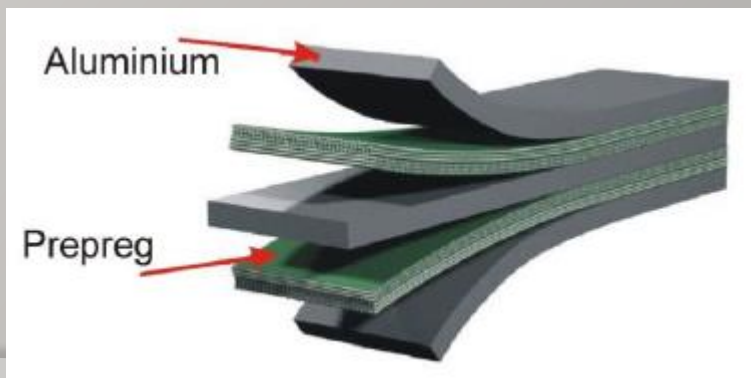
Soluções de compósitas de matriz metálica (Al e carboneto de silício)

- ◉ Materiais compósitos de matriz metálica, vem no seguimento da solicitude do aumento da temperatura de trabalho para compósitos de matrizes termoplásticas 170°C .
- ◉ Atualmente a temperatura de um motor (fora câmara de combustão) pode atingir 1600°C e a superfície, em voo supersônico, a Mach 2.0 por exemplo, a temperatura na superfície de uma aeronave pode chegar a mais de 300°C.
- ◉ Várias aplicações aeroespaciais destes materiais compósitos têm sido recentemente desenvolvidas ,combinadas com vários tipos de métodos de fabricação e uso de metais como matriz. Alumínio e titânio, graças a suas altas resistências à oxidação, tem sido os principais metais estudados.



Soluções de combinação de materiais a nível macroscópico Glare

- Desenvolvido nos anos 70 e 80, é denominado por FML (Fiber Metal Laminate). É composto por laminado de finas folhas de alumínio e finas folhas de fibra de vidro "pre-preg", unidos por uma matriz epóxi.
- Excelente combinação de 2 materiais largamente usados na indústria, que permite trazer vantagens sobre alumínio e compósitos:
 - melhor tolerância a falhas (especialmente impacto e fadiga de metal)
 - melhor resistência a corrosão
 - melhor resistência ao fogo
 - menor peso específico



Considerações finais

- ◉ O alumínio é o material mais utilizado na indústria aeronáutica e aeroespacial, preenchendo uma cota superior a 50% entre os materiais comumente utilizados;
- ◉ Novas tendências para a utilização de tecnologias de novos materiais é totalmente compatível com ao uso do alumínio, se bem que desejável pelo aumento das características final do produto;
- ◉ Novas ligas, processos de conformação e produção estão a ser desenvolvidos, com excelentes resultados, provando que ainda muito à para fazer com a utilização do alumínio;
- ◉ Setor em franca expansão, com crescente necessidade de desenvolvimento e inovação;