



Universidade da Beira Interior

Ligas de Magnésio para aplicações aeroespaciais Propriedade e aplicações

Materiais de Construção Aeroespacial
2014/2015

Ricardo Sousa 27189

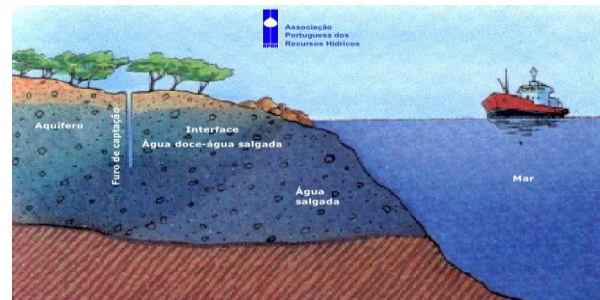
Magnésio

- ▶ É dos elementos metálicos mais abundantes na Terra, constituindo aproximadamente 2,5% da crosta terrestre.
- ▶ Raramente é encontrado na sua forma pura, devido ao facto de que se deposita com outros elementos facilmente.
- ▶ Não surge livre na natureza.

Onde surge:



Minerais rochosos
dolomita ou magnesita



Águas salinas

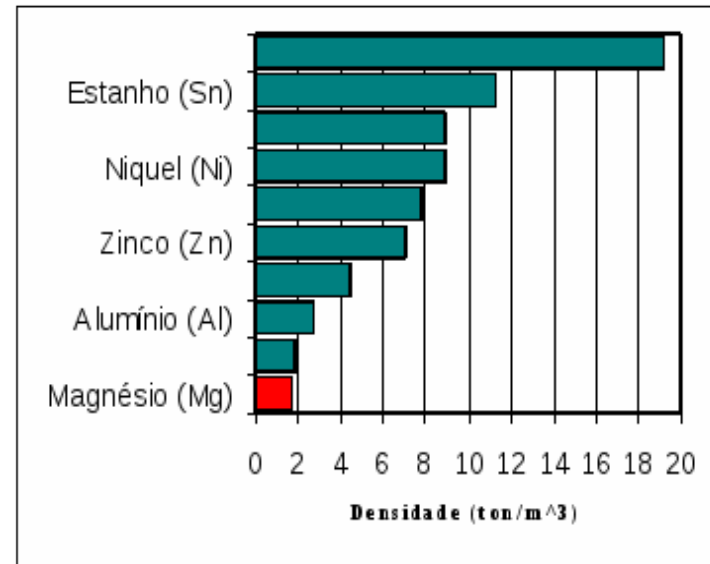
1 metro cúbico de água do mar
contém, 0,3 % de magnésio



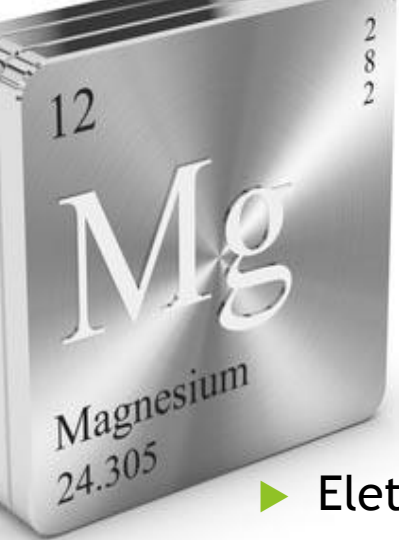
Propriedades

Propriedades físicas do Mg

Densidade a 20°C [g/cm³]	1.74
Coefficiente de dilatação térmica 20-100°C ($\times 10^6/\text{C}$)	25.2
Módulo de elasticidade (GPa)	44.126
Resistência à tração (MPa)	650
Ponto de fusão (°C)	650
Módulo de Cisalhamento (GPa)	17



- I. A energia necessária para a obtenção do magnésio puro é elevada
- II. Baixa densidade do magnésio torna a obtenção favorável em relação a outros materiais, tais como o alumínio e zinco.



Produção de magnésio puro

- ▶ Eletrólise de cloreto de magnésio fundido:

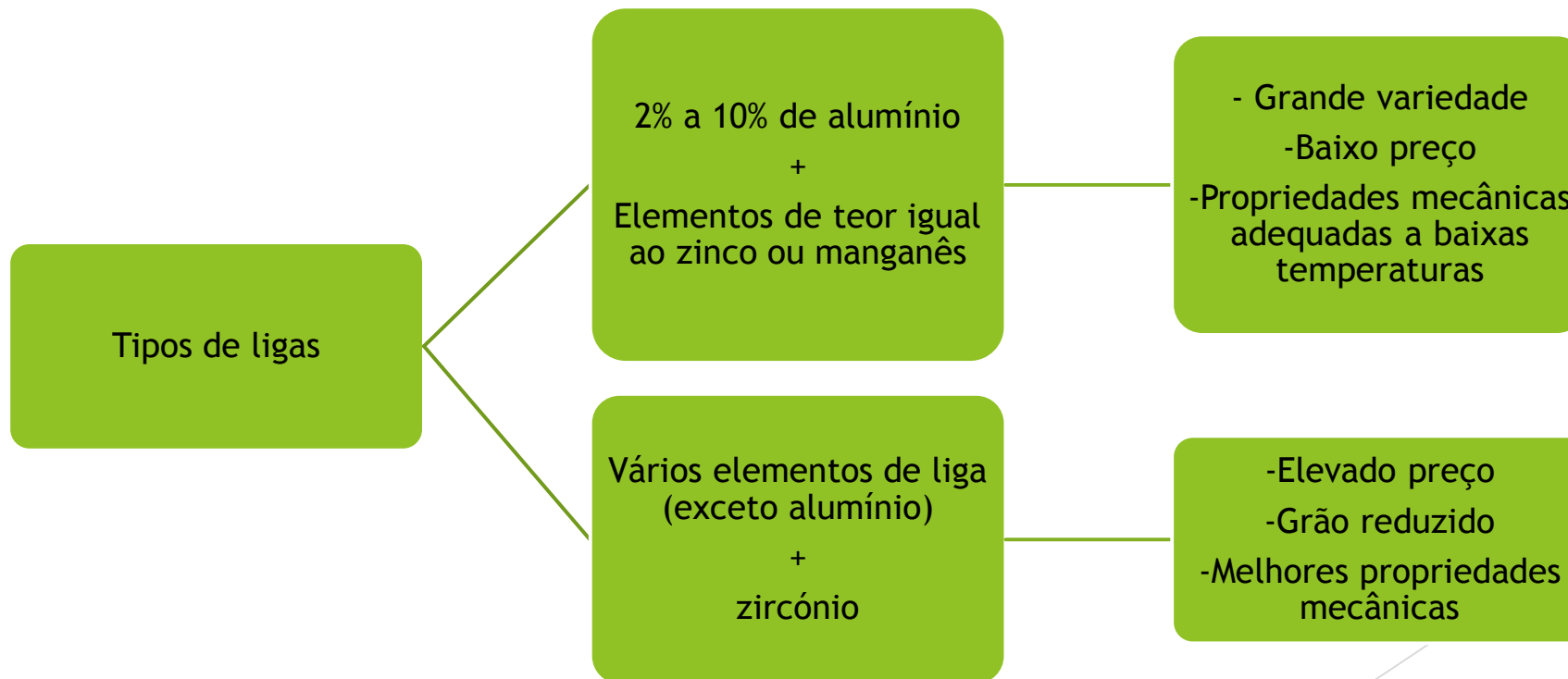


- ▶ Redução térmica do óxido de magnésio, na presença de FeSi.
- ▶ Reciclagem



Ligas de Magnésio

- Os elementos mais comumente utilizados em ligas de magnésio comerciais são o alumínio, berílio, lítio e zinco, entre outros.



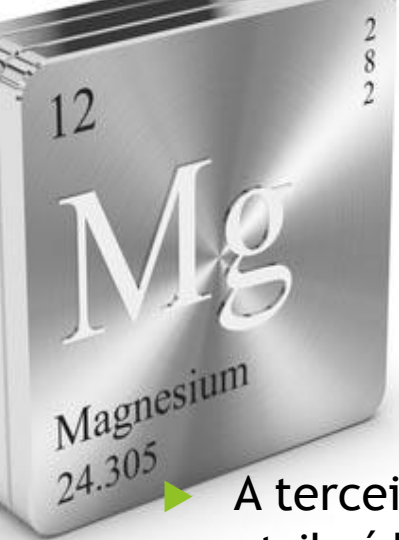


Classificação das ligas de Magnésio

- ▶ A primeira parte da classificação é composta por duas letras indicando os dois principais elementos de liga

A: Alumínio	B: Bismuto	C: Cobre	D: Cádmio	E: Terras raras
F: Ferro	G: Magnésio	H: Tório	K: Zircónio	L: Lítio
M: Manganês	N: Níquel	P: Chumbo	Q: Prata	R: Crómio
S: Silício	T: Estanho	W: Ítrio	Y: Antimónio	Z: Zinco

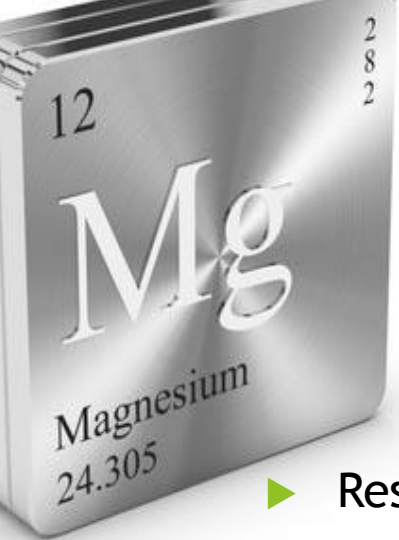
- ▶ A segunda parte da classificação é constituída por dois algarismos que indicam a percentagem dos dois principais elementos de liga.
- ▶ Ex: AZ91 -> Liga de magnésio com 9% de alumínio e 1% de zinco.



Classificação das ligas de Magnésio

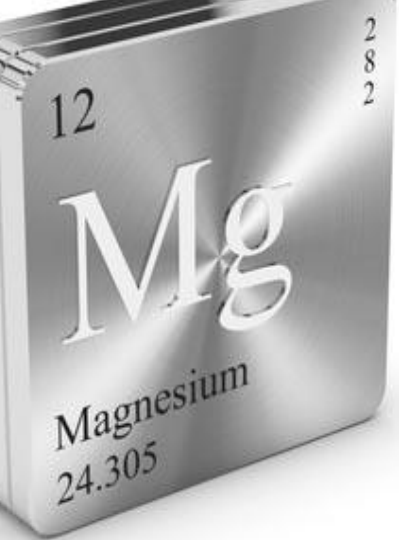
▶ A terceira parte da classificação corresponde a uma letra sequencial, atribuída por ordem de patente:

- ▶ A: primeira liga registada
- ▶ B: segunda liga registada
- ▶ C: terceira liga registada
- ▶ D: liga de alta pureza
- ▶ E: liga de alta resistência à corrosão



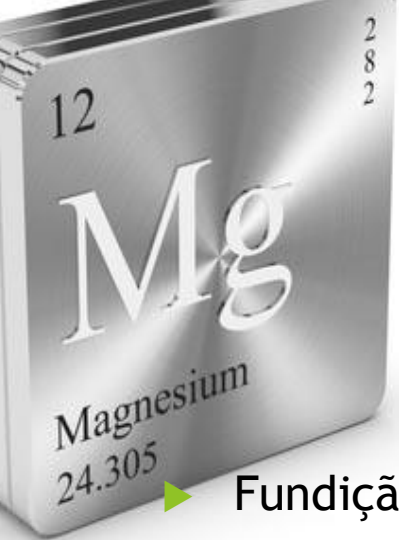
Propriedades das ligas de Magnésio

- ▶ Resistência à tração;
- ▶ Condutividade térmica elevada;
- ▶ Baixo ponto de fusão (permite o uso de menos energia);
- ▶ Soldável;
- ▶ Boa resistência à torção;
- ▶ Ductilidade à temperatura ambiente;
- ▶ Alta resistência ao impacto
- ▶ Suscetível à corrosão;
- ▶ Alta reatividade.



Processos de Fabrico

- ▶ Fundição
- ▶ Forjamento
- ▶ Extrusão
- ▶ Laminagem

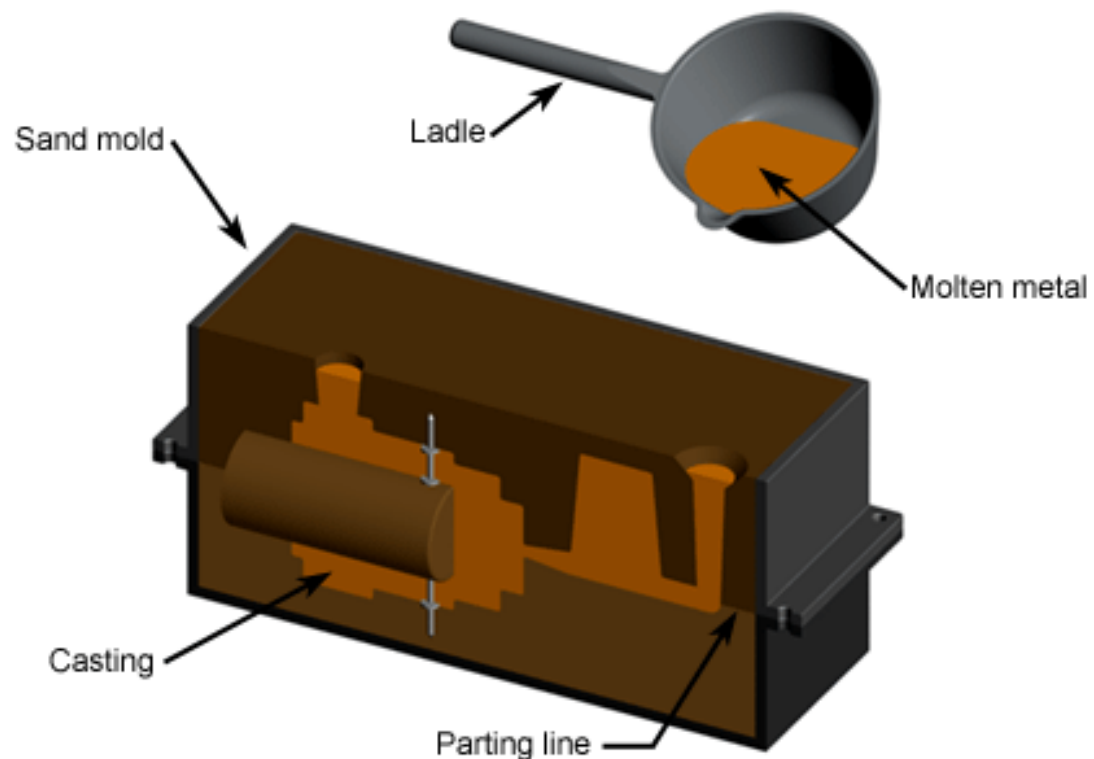


Fundição

► Fundição em areia

► Etapas:

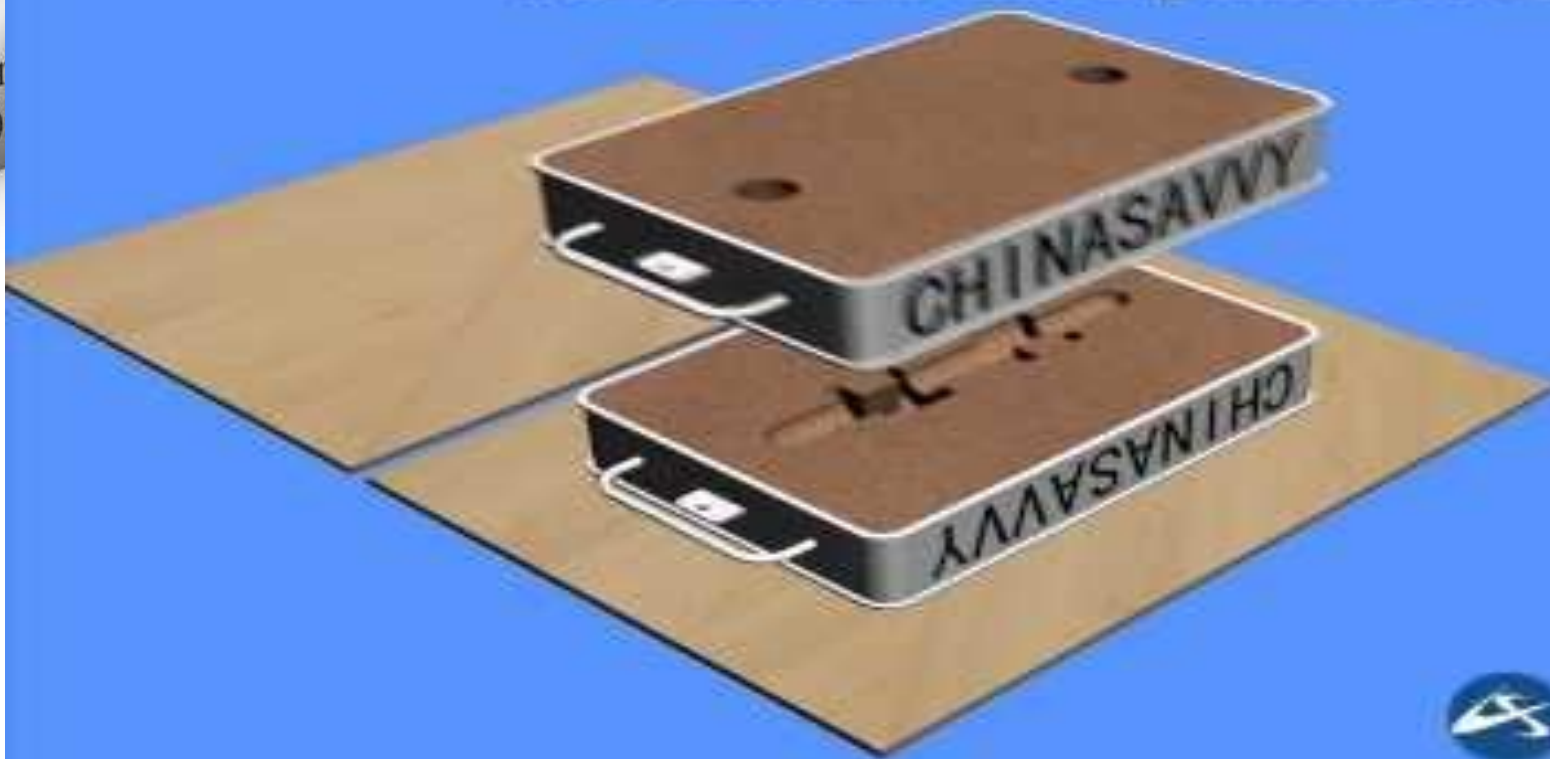
- Fabricação do molde;
- Fixação;
- Vazamento;
- Arrefecimento;
- Aparamento.



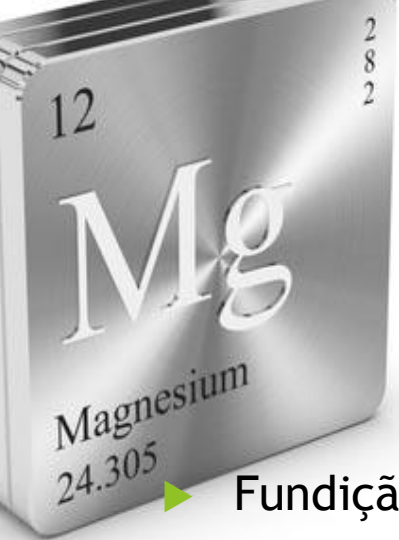
Copyright © 2008 CustomPartNet

12
N
Mag
24.30
2
8
2

The feed side box is placed on top of bottom box



<https://www.youtube.com/watch?v=K8SYhISGxN4>

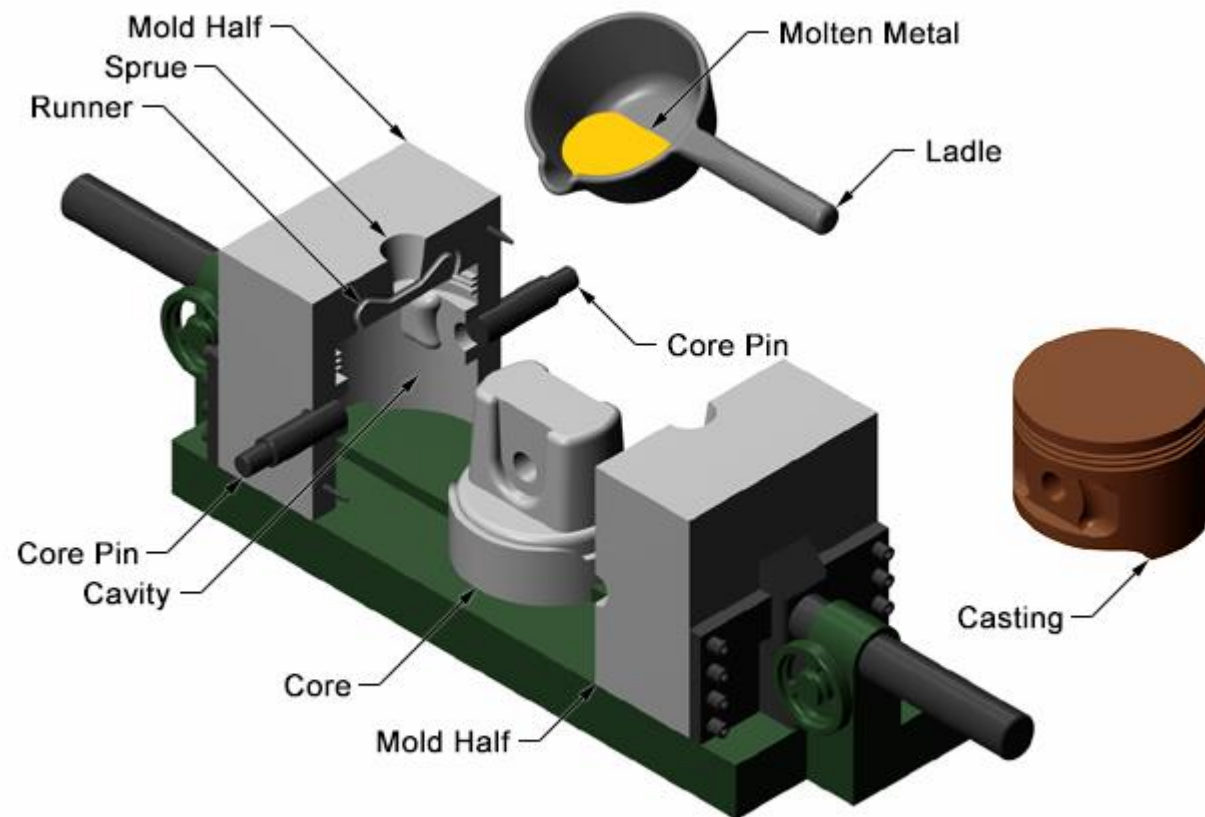


Fundição

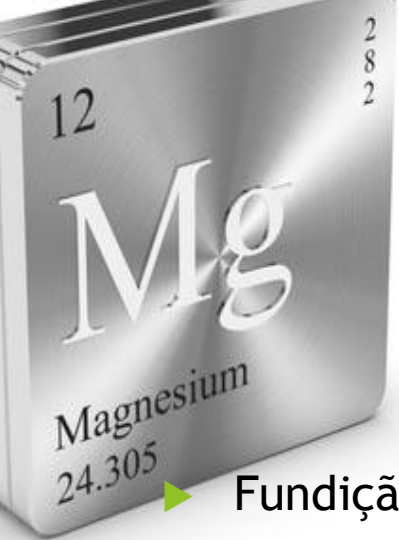
► Fundição com molde permanente

► Etapas:

- Fabricação do molde;
- Montagem do molde;
- Vazamento;
- Arrefecimento;
- Abertura do molde;
- Aparamento.



Copyright © 2008 CustomPartNet



Fundição

► Fundição em cera perdida

► Etapas:

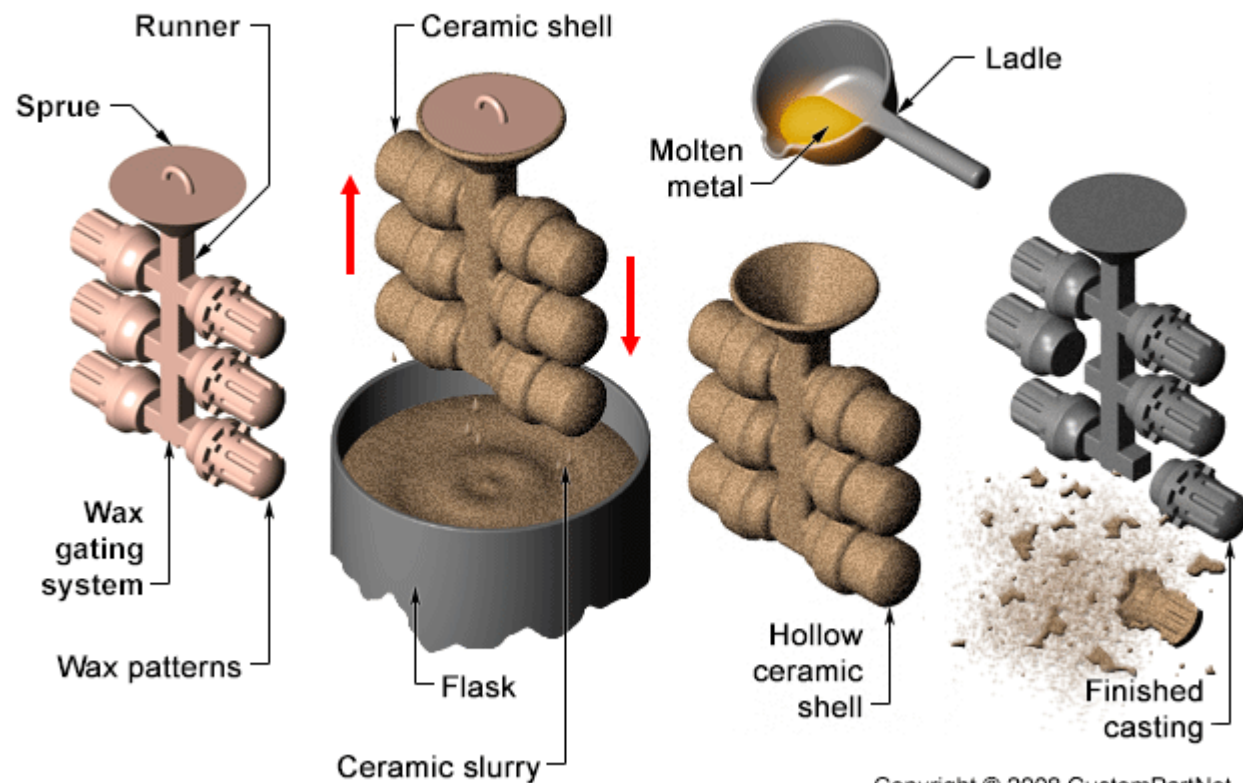
- Criação do padrão;
- Fabricação do molde;
- Vazamento;
- Arrefecimento;
- Remoção;
- Acabamento.

Pattern Tree

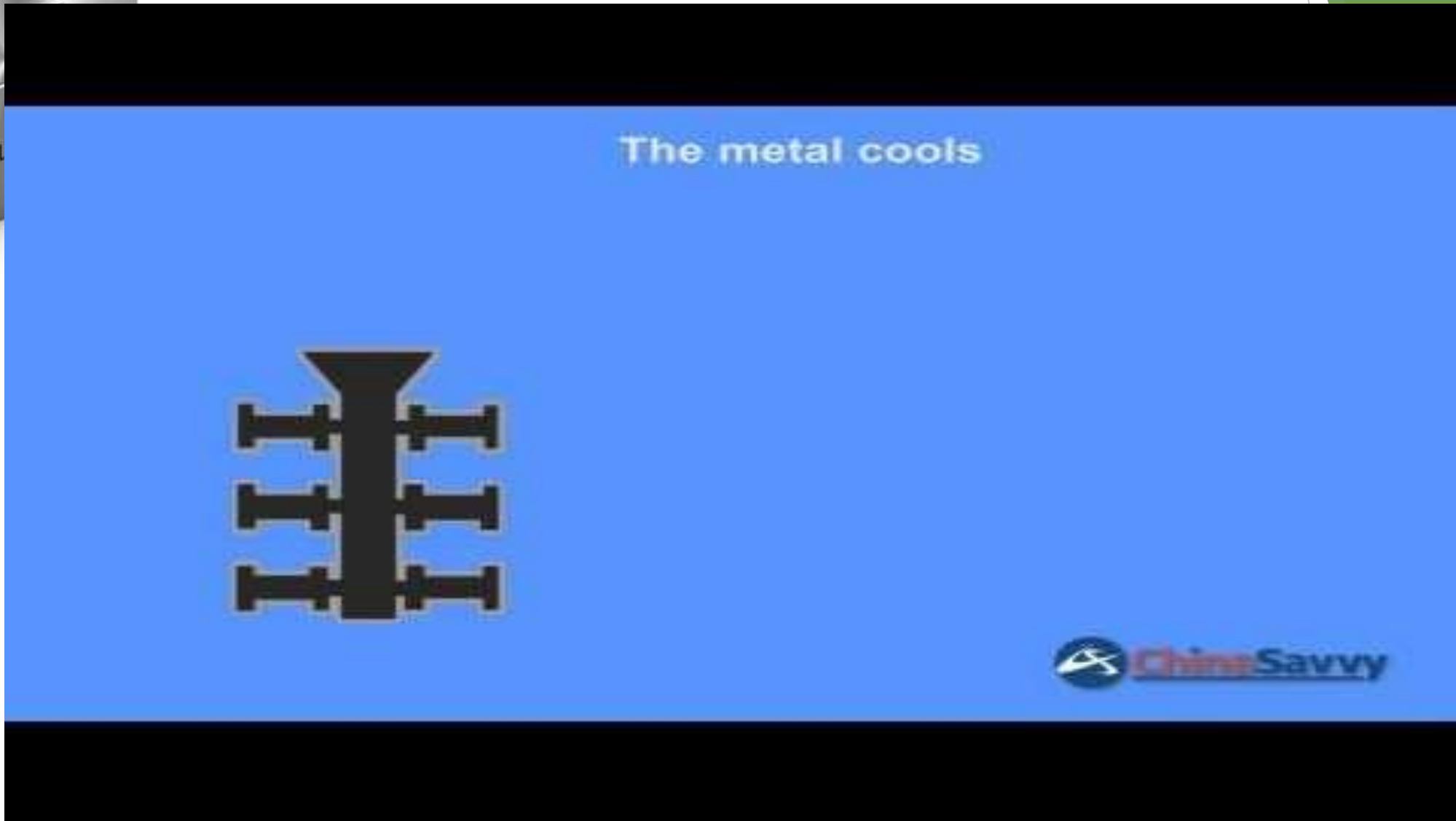
Shell-Making

Investment Casting

Casting



Copyright © 2008 CustomPartNet



<https://www.youtube.com/watch?v=UrUsaGussfc>



Fundição

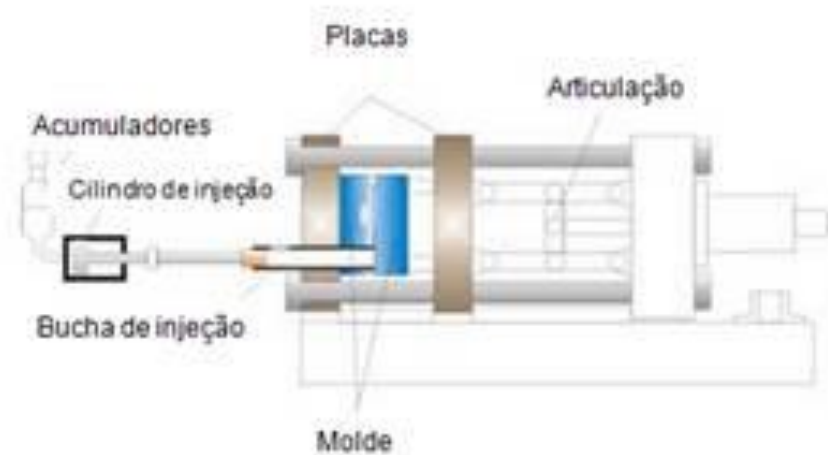
Fundição por injeção

Pode ser feito em máquinas com câmara quente ou fria.

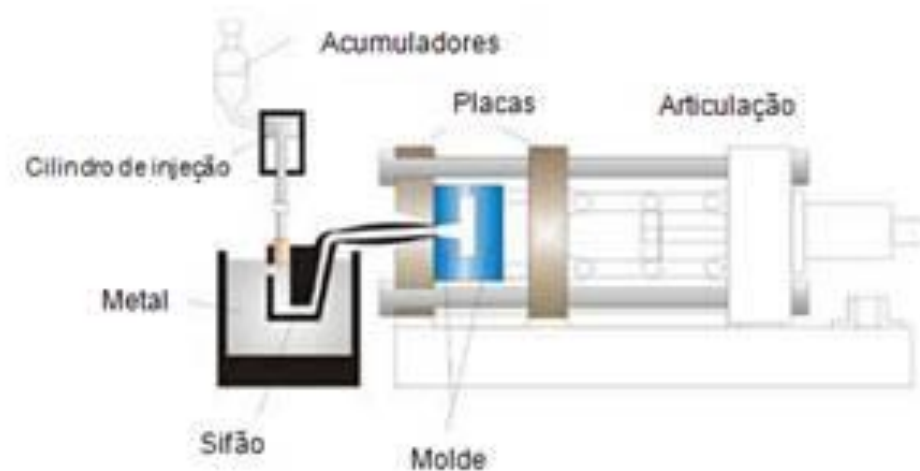
Etapas:

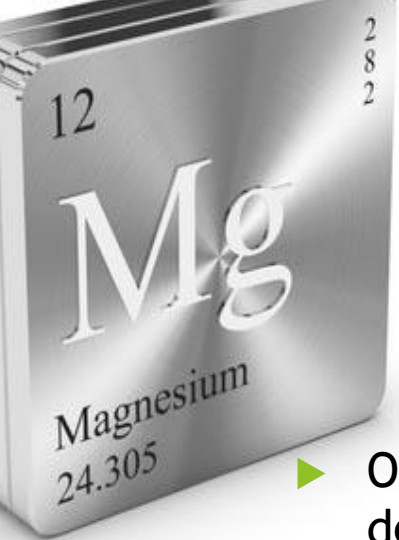
- Fixação;
- Injeção;
- Arrefecimento;
- Ejeção;
- Aparamento.

INJEÇÃO CÂMARA FRIA



INJEÇÃO CÂMARA QUENTE

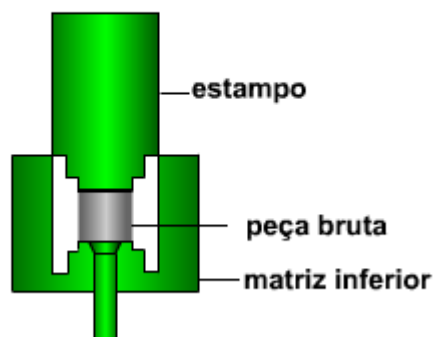




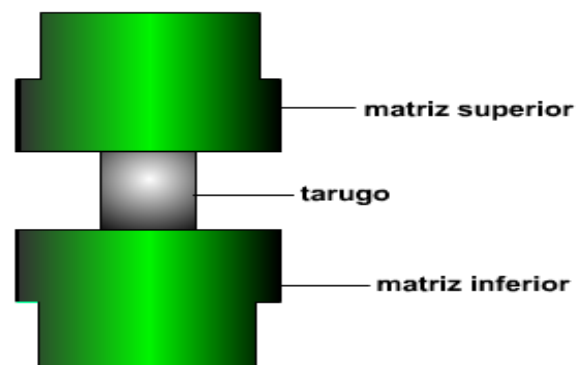
Forjamento

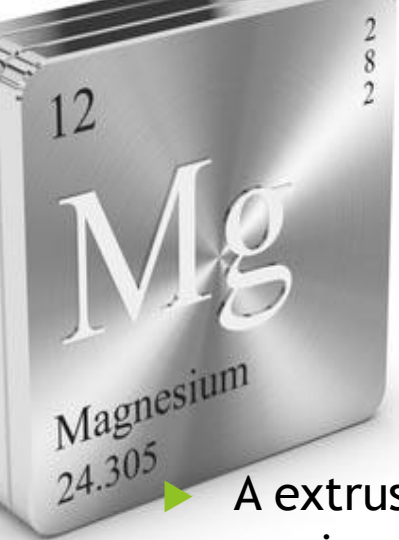
- ▶ O forjamento é um processo de alteração de forma, por deformação plástica, de materiais metálicos.
- ▶ O forjamento é efetuado por forças de compressão aplicadas através de matrizes, podendo ser efetuado a frio ou a quente.

Forjamento em Matriz Fechada



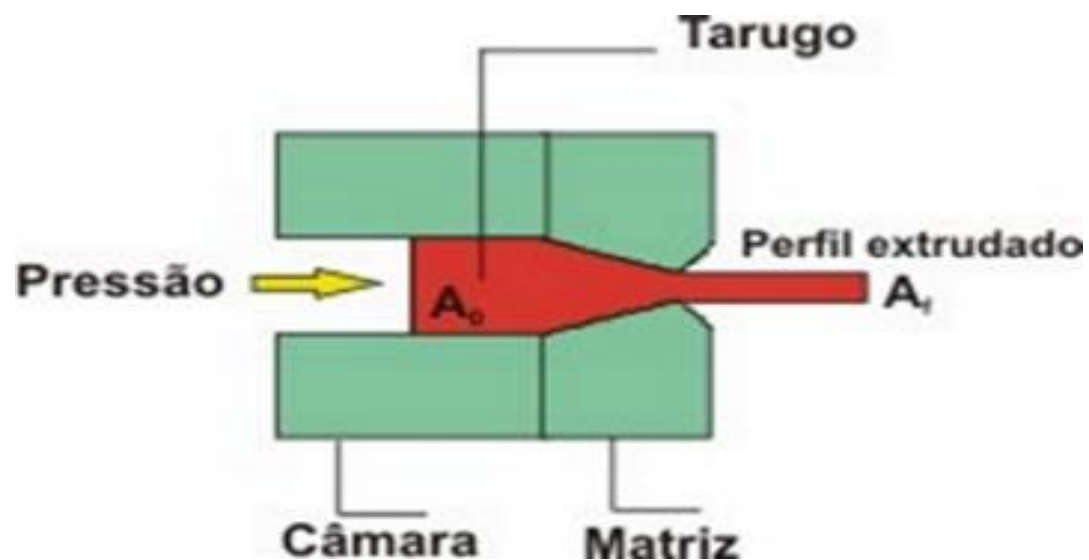
Forjamento em Matriz Aberta

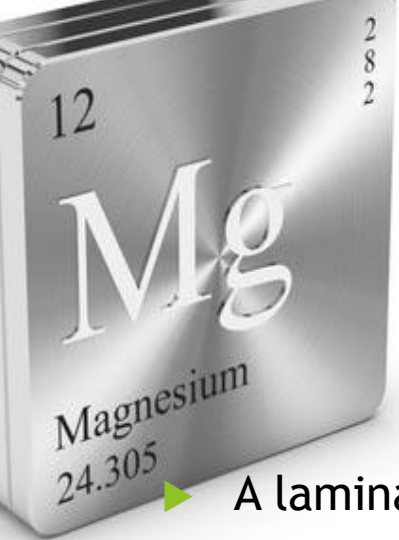




Extrusão

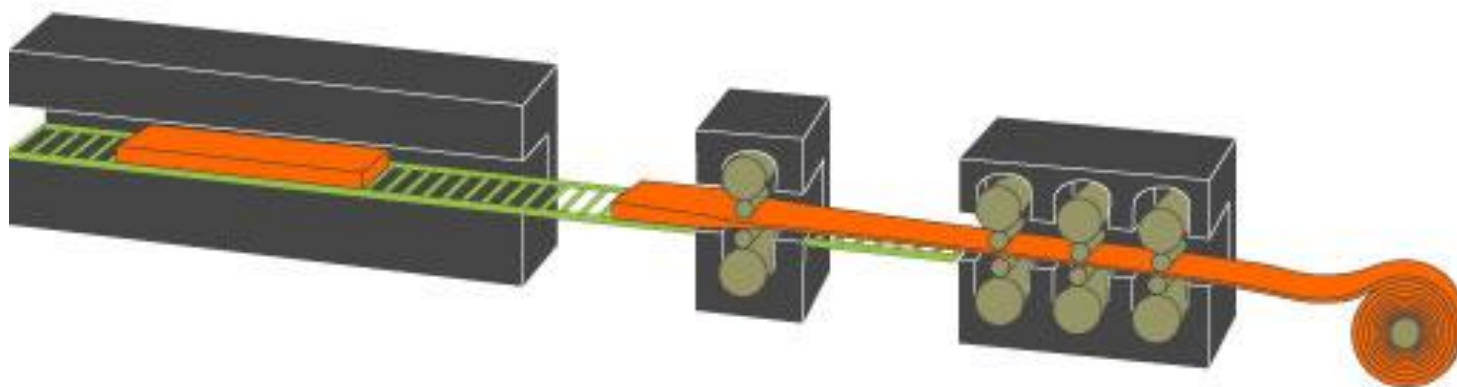
- ▶ A extrusão é um processo mecânico de produção de componentes de forma semi contínua onde o material é forçado através de uma matriz adquirindo assim a forma pré determinada pela forma da matriz projetada para a peça.

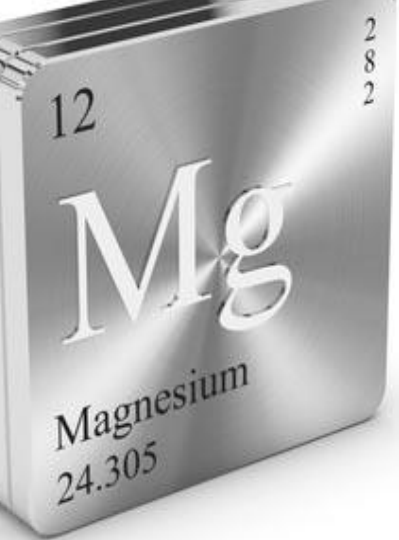




Laminagem

- ▶ A laminagem é um dos processos de alteração de forma por deformação em massa, para além do Forjamento e da extrusão.
- ▶ Consiste em forçar o material a passar entre dois cilindros.





Ligas de Magnésio

As ligas Mg-Al

A adição do Al ao magnésio permite:

- aumentar a sua resistência mecânica e à corrosão.

As ligas de Mg-Al-Zn

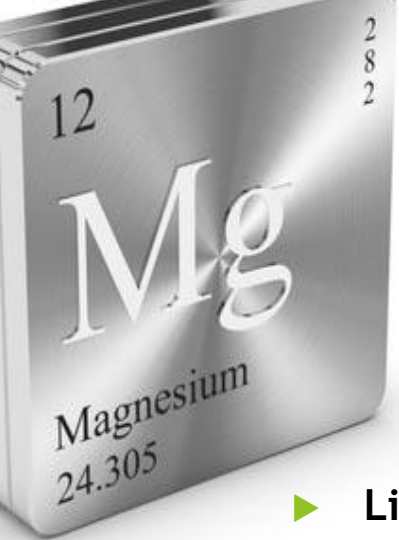
Boa combinação de baixo peso, resistência mecânica e resistência à corrosão.

A adição de zinco aumenta a resistência desta.

Ligas de Mg- Zn- Zr

Excelentes propriedades mecânicas; suscetibilidade à microporosidade durante o vazamento; não são soldáveis devido à elevada quantidade de zinco.

O zinco permite um aumento da resistência da liga, enquanto o zircônio refina o grão.



Ligas de Magnésio

- ▶ **Ligas de Mg- Zn- Terras Raras- Zr**
 - ▶ Ligas para fundição em areia. Estas ligas têm uma soldabilidade relativamente boa devido ao seu baixo ponto de fusão.
 - ▶ No entanto, as forças de tensão à temperatura ambiente das ligas são relativamente baixas devido em parte à remoção de algum zinco da solução sólida para formar fases estáveis na ligação dos grãos.
 - ▶ A adição de terras raras melhora a resistência da deformação a temperaturas elevadas.



Aplicações Aeronáuticas



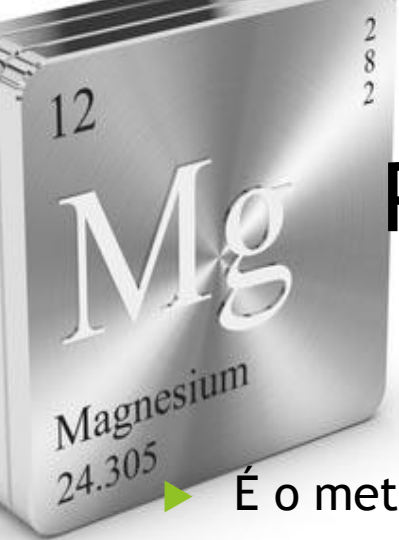
- Fração de combustível representa 35-40% do custo de operação



- A redução de 20% do peso, poupa cerca de 10% de combustível



- A redução de 30% do peso, reduz cerca de 10% do custo total de operação



Porquê usar ligas de magnésio?

- ▶ É o metal estrutural mais leve, cerca de 30% mais leve que o alumínio.
- ▶ Boas propriedades mecânicas
- ▶ Condutor elétrico e térmico
- ▶ Baixo custo



Por volta dos anos 50 as ligas de alumínio eram muito usadas



Sikorsky s-56, westland aircraft (1950) com 115kg de magnésio



Lockheed F-80C construção total em magnésio



TU-95MS com 1550 kg de magnésio



Convair B-36 com 8600 Kg de magnésio

B52



PARKER HANNIFIN

B-52 BRAKE
CALIPER

AZ92A T4



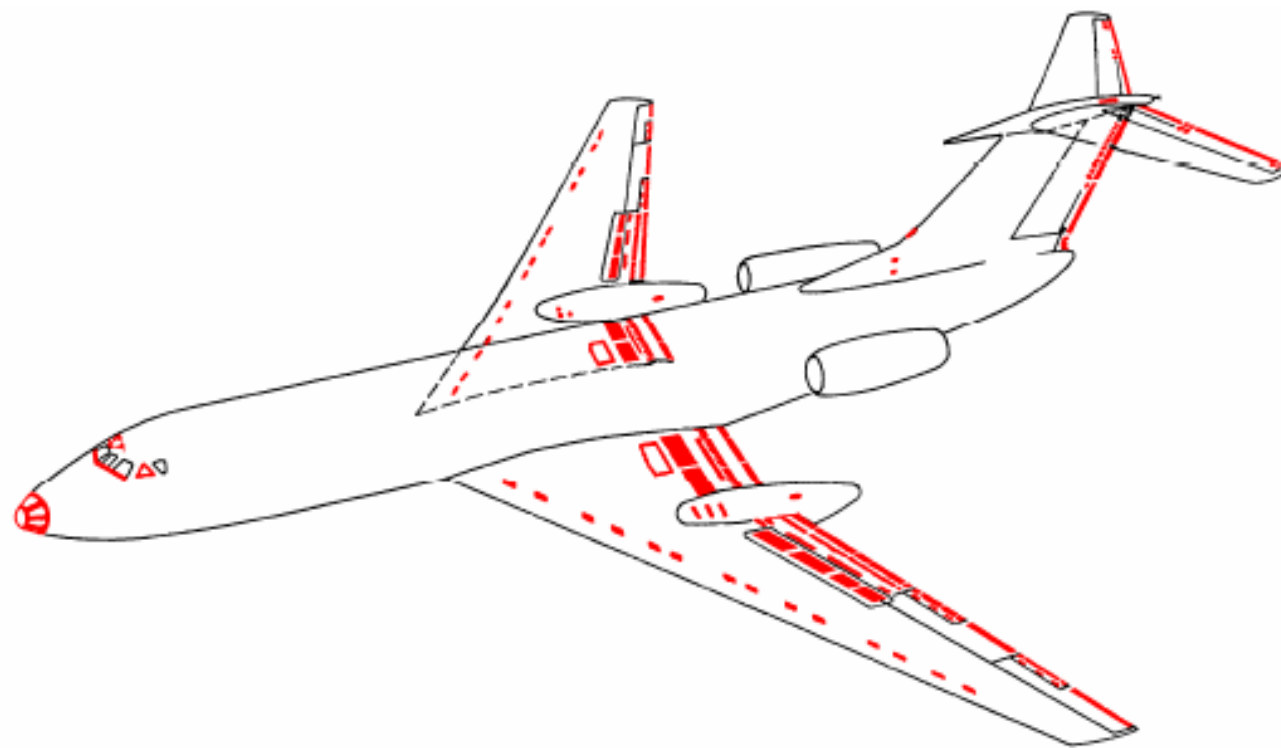
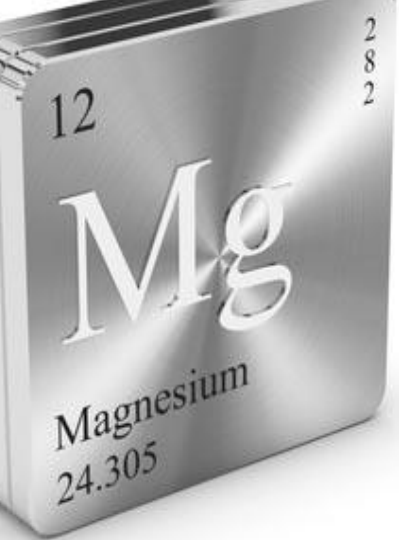
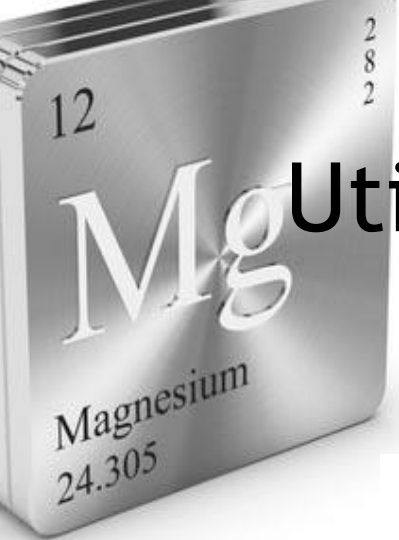
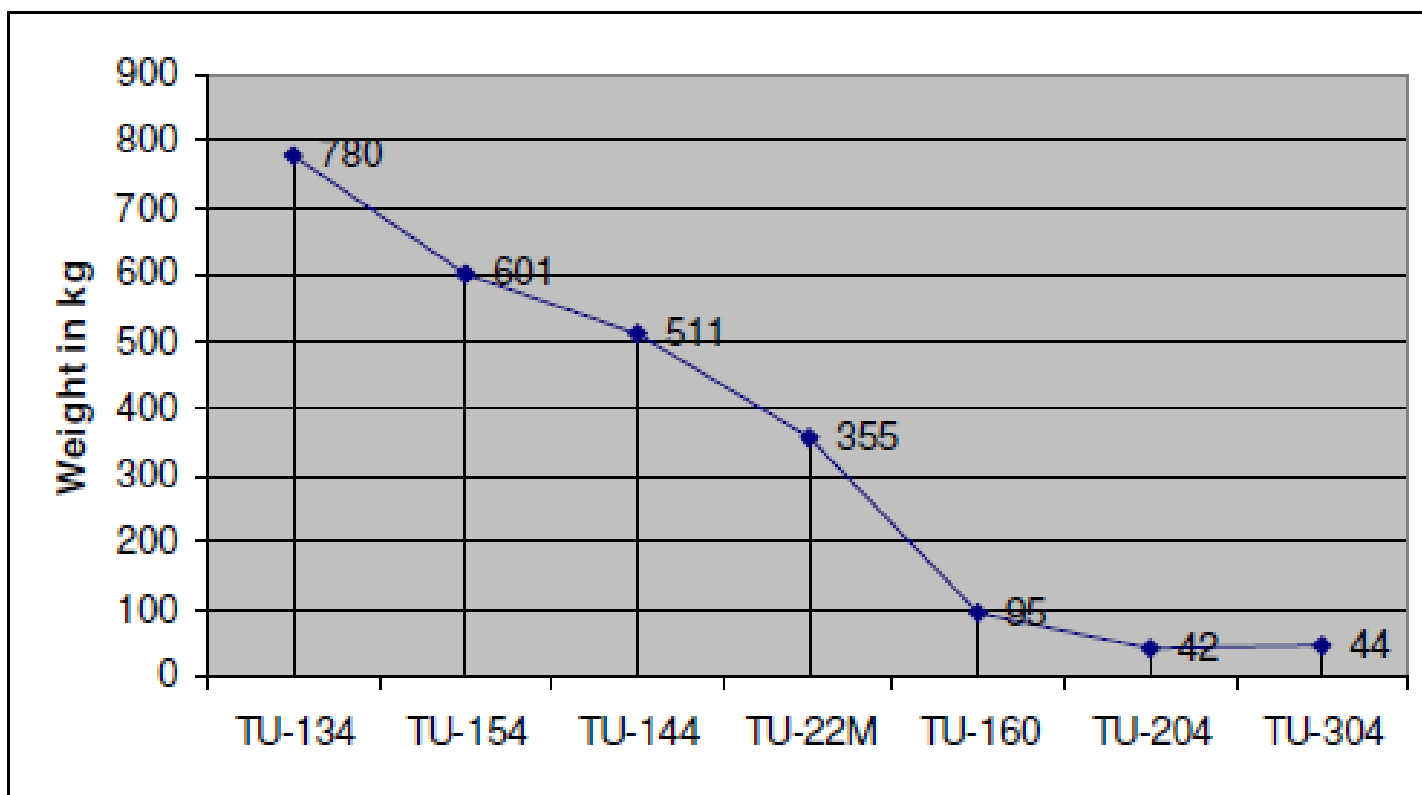


Fig. 5. Location of magnesium components (in red) in TU-134 [1]



Utilização das ligas de magnésio ao longo do tempo no Tupolev





Porque é que o uso do magnésio foi reduzido na indústria aeronáutica?

- ▶ Inflamabilidade
- ▶ Corrosão
- ▶ Falta de um resistência elevada

Corrosion Test Cylinders after ASTM B117 Salt Fog Testing

Corrosion
Resistant
Alloys:

WE43
AZ91E

Standard
Purity
Alloy:

AZ91C

10 Days
Exposure

WE43



AZ91E



AZ91C

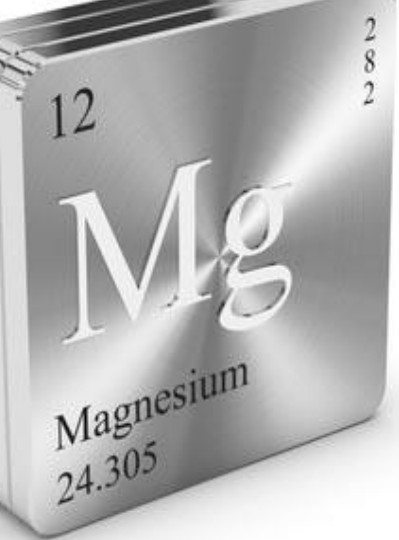


20 Days
Exposure



Magnesium Elektron

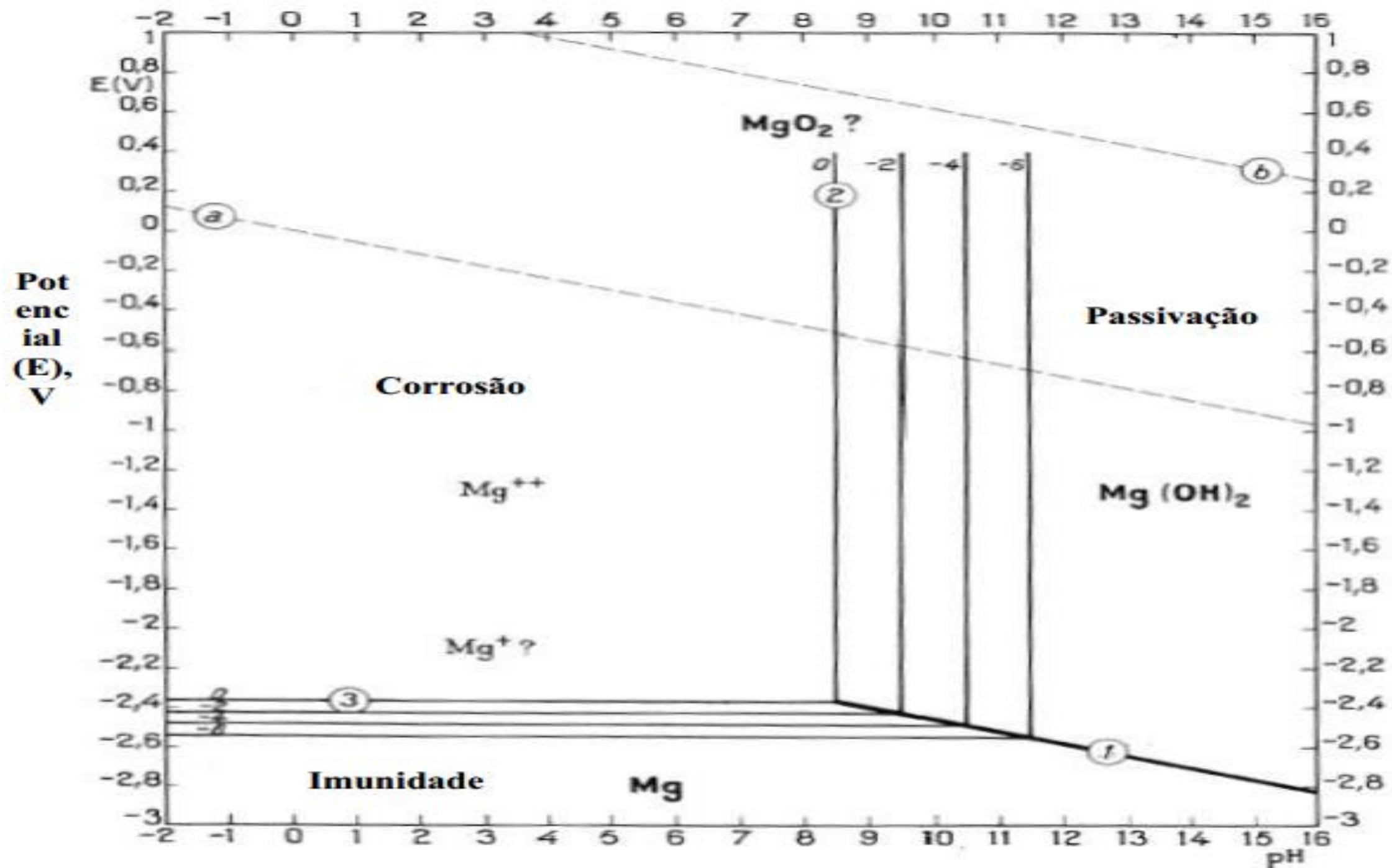
SERVICE & INNOVATION IN MAGNESIUM



Corrosão do Magnésio

Diagrama de Pourbaix

- São diagramas nos quais se relaciona o potencial de um dado metal com o pH da solução com a qual ele contata e que permitem prever se esse metal apresenta ou não tendência para se corroer nesse meio.



Corrosão



Como se pode observar o domínio de estabilidade do magnésio (zona de imunidade) situa-se abaixo do domínio de estabilidade da água podendo então afirmar-se que o magnésio é um metal pouco nobre e facilmente oxidado.

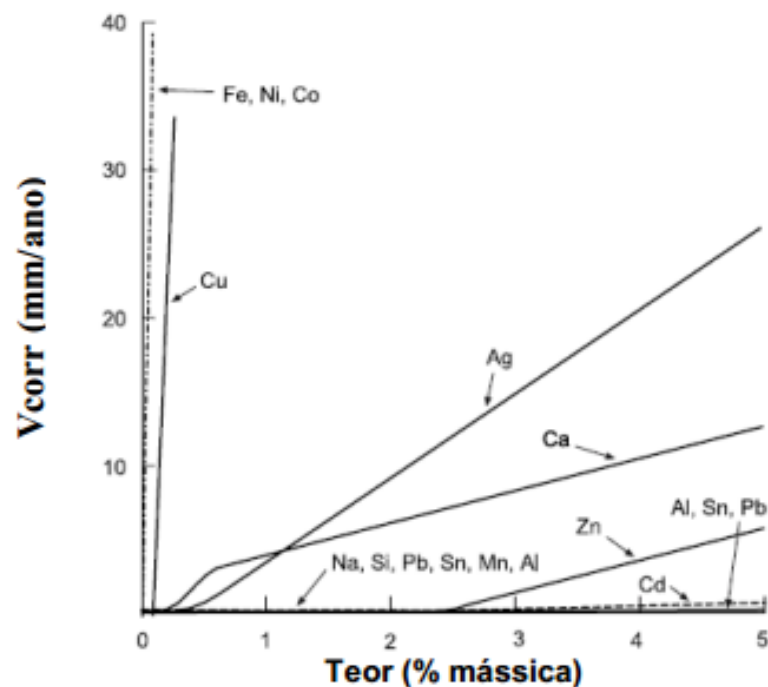
- ▶ Quando em contacto com meios neutros ou ácidos o magnésio é oxidado (originando iões Mg^{2+} para a solução) sendo este processo anódico acompanhado pela libertação de hidrogénio.
- ▶ Em meios básicos a passivação do magnésio é possível como resultado da formação de uma camada de hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) na superfície do metal. De notar que esta camada é ligeiramente solúvel em água pelo que não confere proteção a longo prazo.
- ▶ A resistência à corrosão do magnésio (bem como de muitas das suas ligas) está intimamente ligada à formação desta película protetora superficial, cuja formação depende da natureza da solução e das impurezas do metal (e eventualmente dos elementos de liga).



Composição Química

O efeito que alguns elementos provocam no comportamento da corrosão do magnésio em água salgada

- ▶ Como se pode observar, elementos como o alumínio, manganês, sódio, silício, chumbo e estanho não têm qualquer efeito prejudicial na resistência à corrosão do magnésio quando presentes até teores de 5%.
- ▶ A presença de cálcio, prata e zinco provocam uma aceleração da velocidade de corrosão, sendo este efeito ainda mais notório para o cobalto, cobre, ferro e níquel que demonstraram ter efeitos extremamente severos acelerando a corrosão.

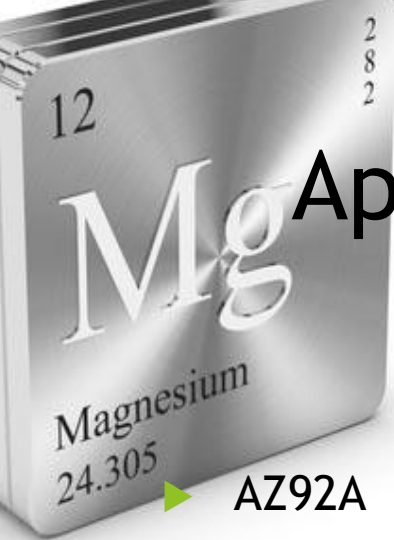


AZ91C vs. AZ91E

Tested 10 days
to ASTM
B117



Casting
approximately
24" x 16" x 4"



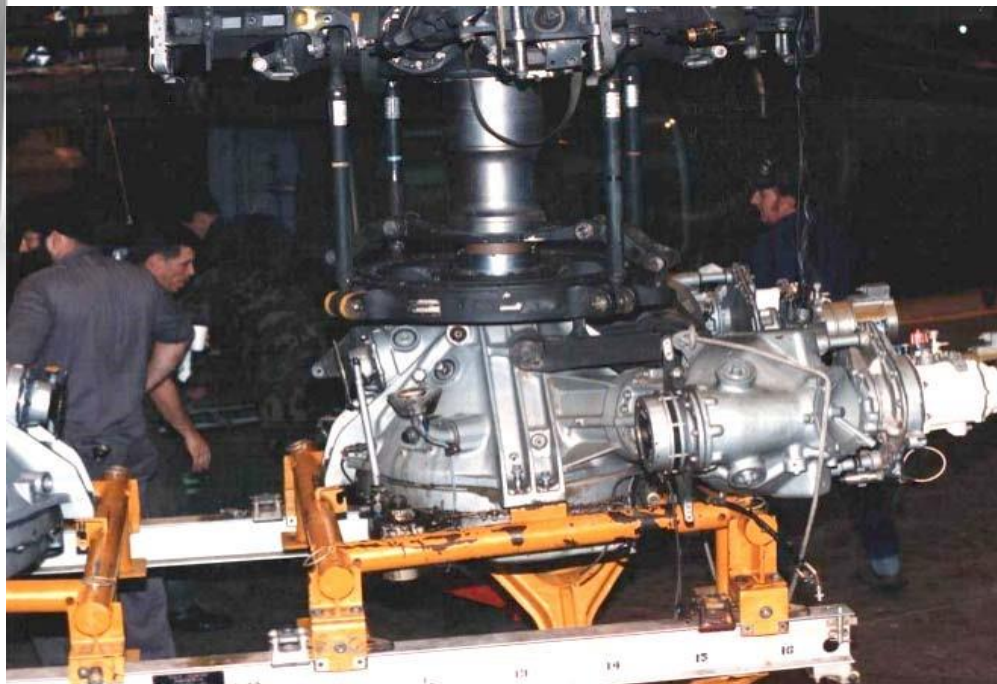
Aplicações Atuais em Aeronáutica

AZ92A



Usado em motores (thrust reverser)

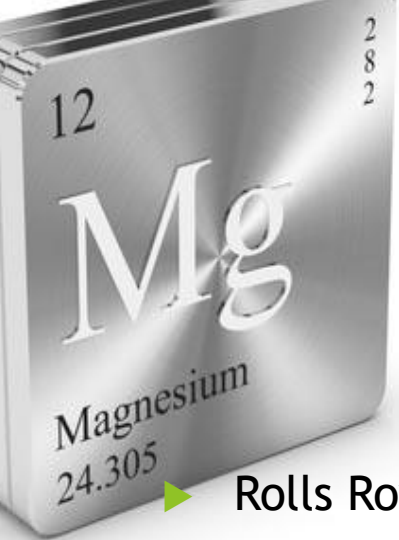




Sikorsky
UH60 Family (Blackhawk)



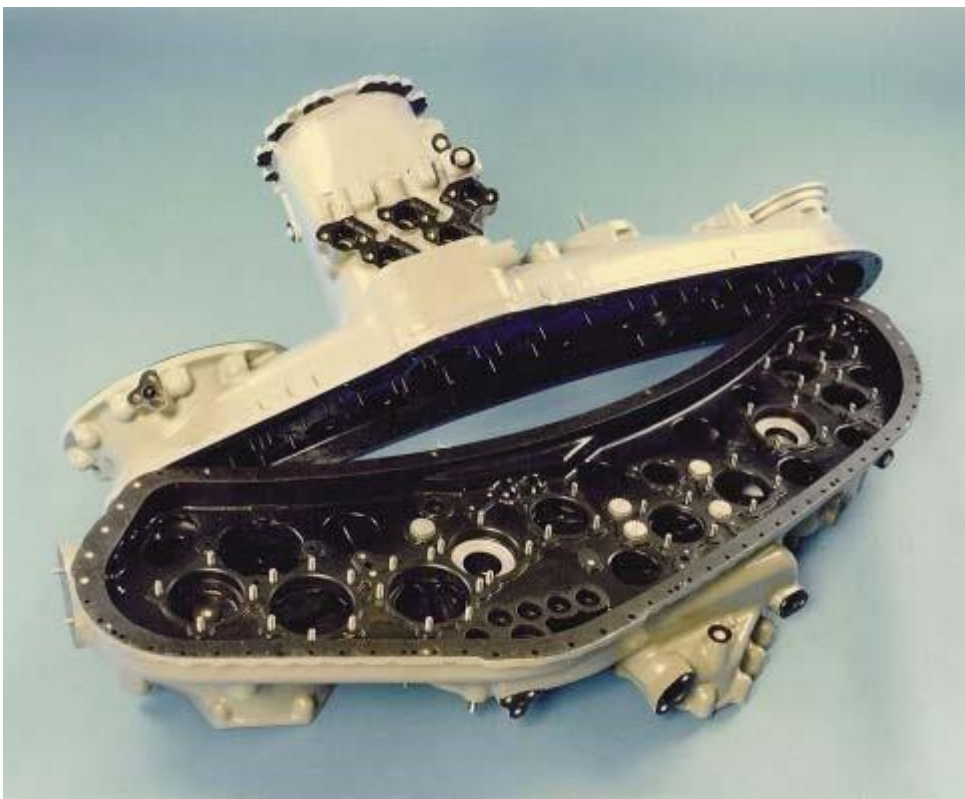
► Transmissão ZE41



EZ33A

Rolls Royce

RB211 gearbox

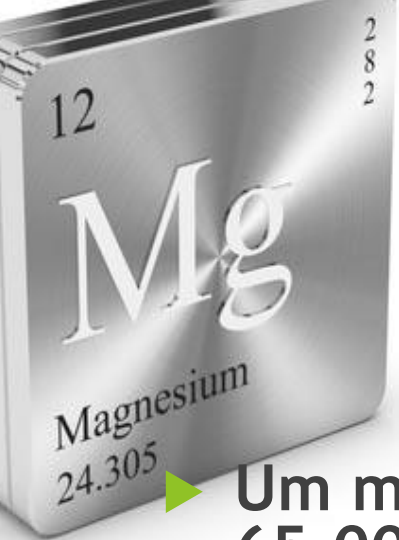




AZ91E



- Componentes do sistema de transmissão de um helicóptero



Curiosidade

- ▶ Um motor de magnésio completou 65.000km de testes
- ▶ Um motor de carro, com o bloco feito de magnésio, e pesando apenas 14 quilos, equipando um Volkswagen Lupo, o motor a diesel de três cilindros rodou 65.000 quilômetros sem qualquer problema mecânico.

