

Ligas de Co e de Ni

❖ Ligas de Co e de Ni

Ligas de Co

Ligas de Ni

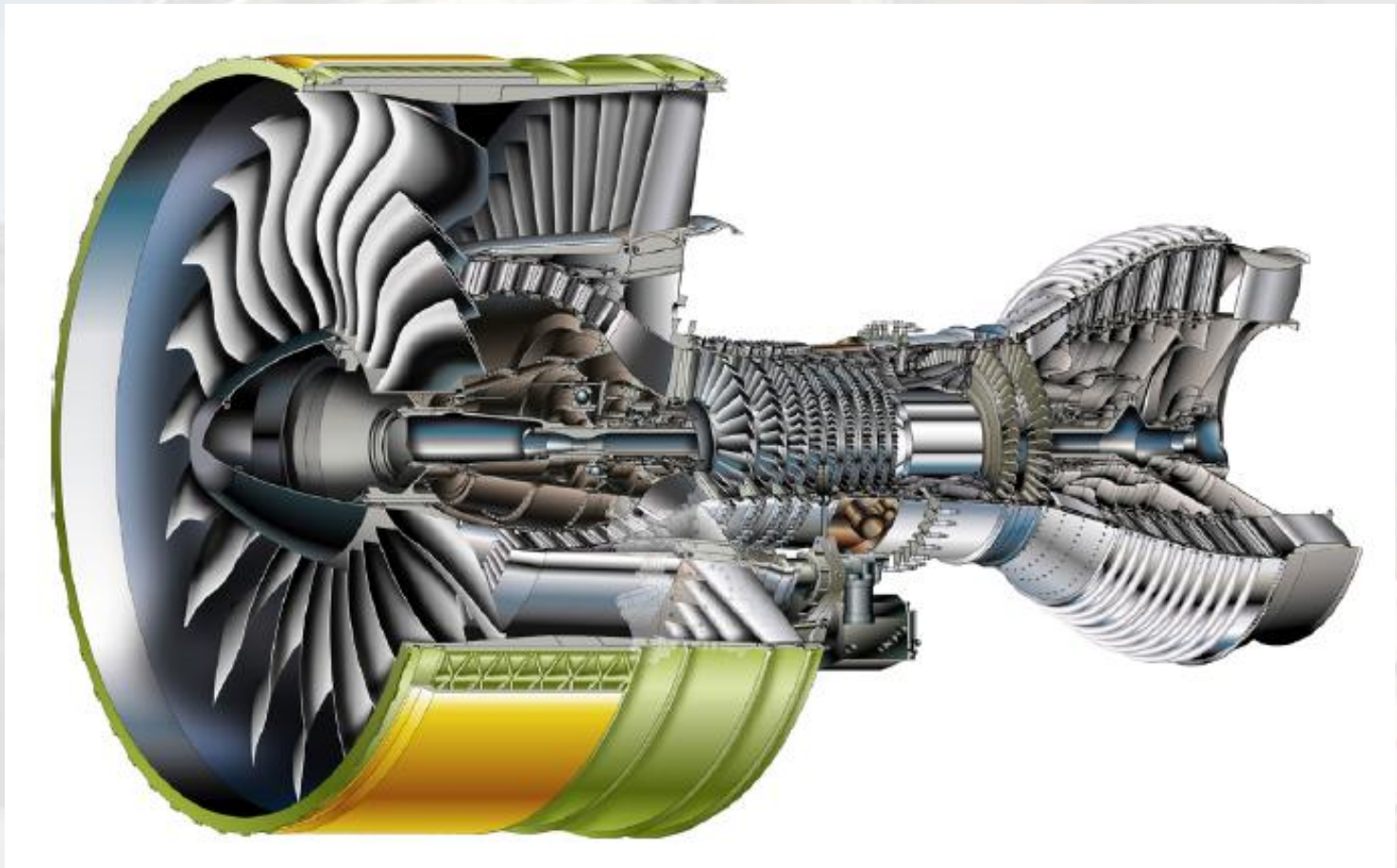


Superligas

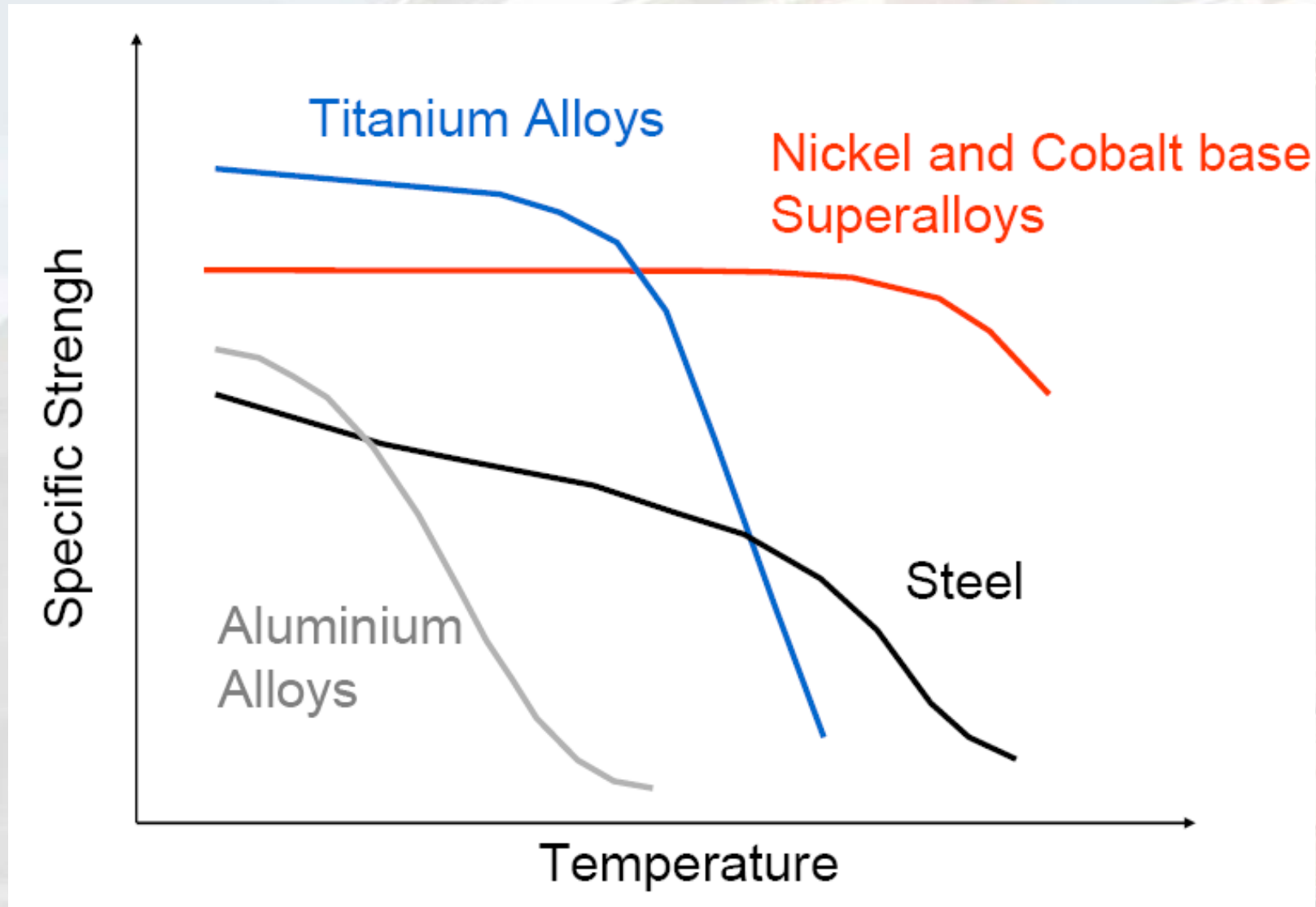
Para trabalhar a
temperaturas
elevadas > 540°C

❖ Ligas de Co e de Ni

Aplicação mais frequente: turbinas

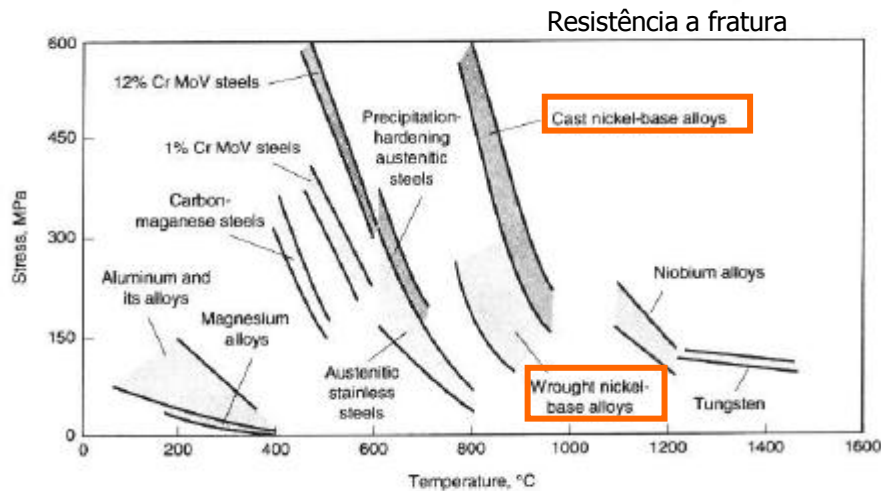
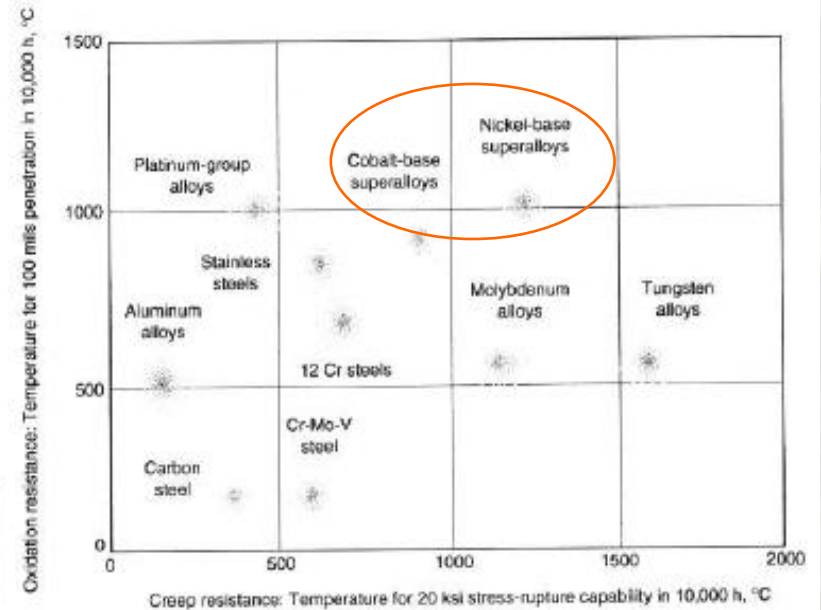
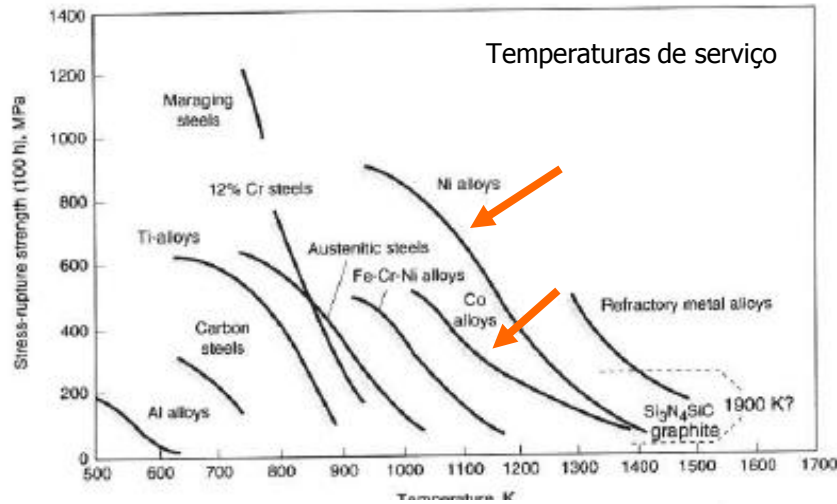


❖ Ligas de Co e de Ni



❖ Ligas de Co e de Ni

Correlação com outros ligas



❖ Ligas de Co e de Ni

Superligas:

- ✓ Alta resistência a temperaturas elevadas
- ✓ Boa resistência a corrosão e oxidação a temperaturas elevadas
- ✓ Boa resistência a fluência e a ruptura a temperaturas elevadas

✓ 3 classes:

➤ Ni-Fe

- Superligas **Fe-Ni** são uma extensão dos aços inoxidáveis e tipicamente se utilizam na forma trabalhada (placas, chapas, tupos, etc.)

➤ Ni

➤ Co

- Superligas à base de **Ni** e de **Co** podem ser utilizadas na forma de produtos trabalhados ou fundidos, dependendo da aplicação e da composição da liga.

Aplicações estruturais e como revestimentos

❖ Ligas de Co e de Ni

O que determina as propriedades das ligas de Co e de Ni?

❖ Ligas de Co e de Ni

Propriedades dependem de:

- ❑ Composição química
- ❑ Processamento
- ❑ Tratamento térmico

Mecanismos de endurecimento:

- Solução sólida
- Dispersão de segunda fase
- Precipitação:
 - carbonetos: $MC \dots M_{23}C_6$
 - fases ordenadas: γ' , γ''

❖ Ligas de Co e de Ni

Composição química

Elementos de liga presentes nas ligas Ni e de Co

	Ni	Co	Cr	Mo	W	Ta	Al	Ti	Nb	Re	Hf	C
Nickel base Superalloys	Matrix	Matrix	Matrix							Matrix	Matrix	
	Gamma prime (γ')						Gamma prime (γ')	Gamma prime (γ')	Gamma prime (γ')			
Cobalt base Superalloys	Matrix	Matrix										
			Carbides	Carbides	Carbides	Carbides		Carbides	Carbides			Carbides

■ Matrix

■ Gamma prime (γ')

■ Carbides

❖ Ligas de Co e de Ni

Composição química

Effect	Co-base	Ni-base
Solid-solution strengtheners	Nb, Cr, Mo, Ni, W, Ta	Co, Cr, Fe, Mo, W, Ta
Carbide forms: MC type M_7C_3 type $M_{23}C_6$ type M_6C type	Ti Cr Cr Mo,W	W, Ta, Ti, Mo, Nb Cr Cr, Mo, W Mo, W
Forms γ' $Ni_3(Al, Ti)$		Al, Ti
Oxidation resistance	Al, Cr, Ta	Al, Cr, Ta
Sulfidation resistance	Cr	Cr
Changes gb morphology, enhances creep-rupture properties	B, Zr	B, Zr

*If B present in large amounts, borides are formed

❖ Ligas de Co e de Ni

Processamento

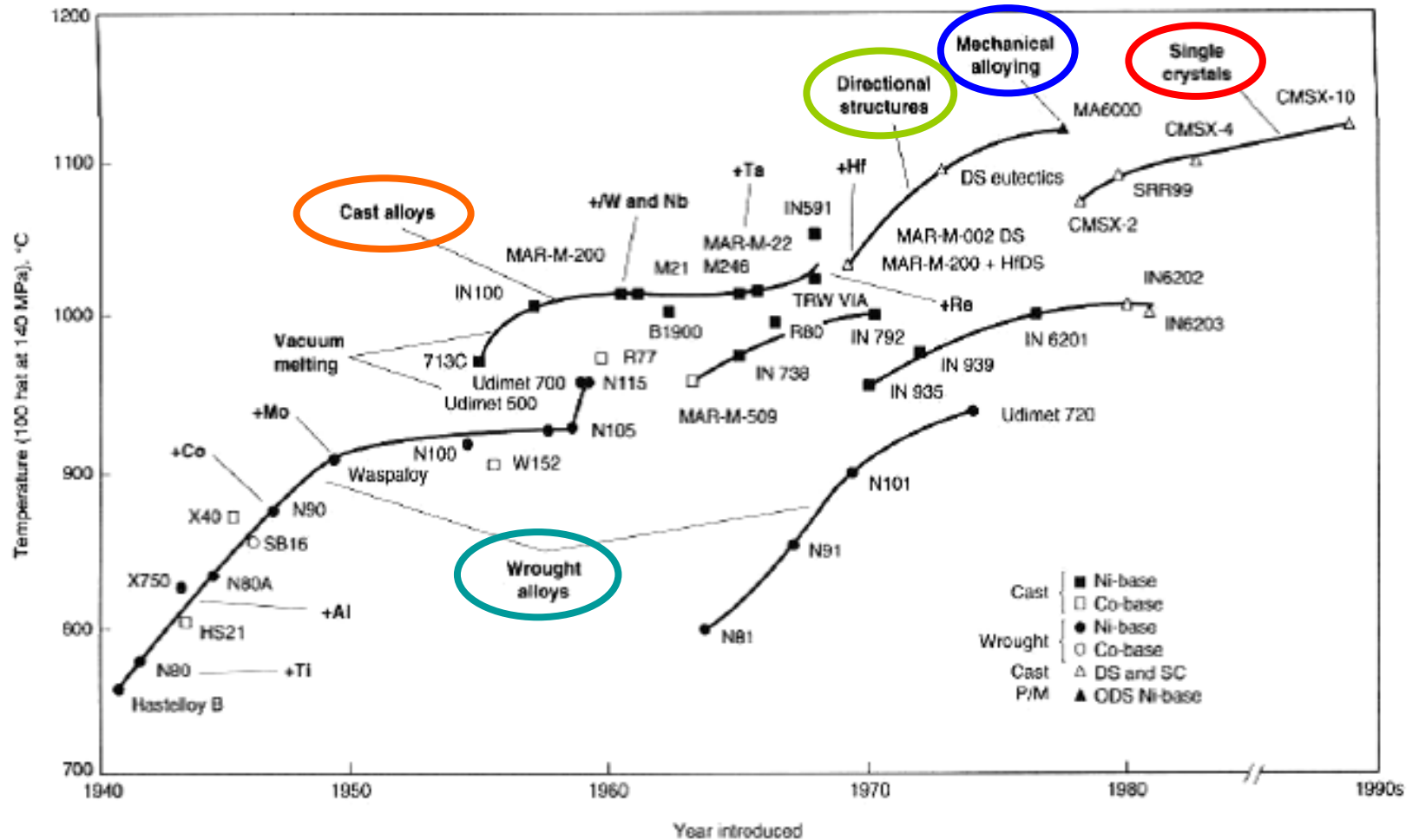


Fig. 7 Temperature capability of superalloys with approximate year of introduction. DS, directionally solidified; SC, single-crystal; P/M, powder metallurgy; ODS, oxide-dispersion-strengthened. Source: adapted from Ref 9

❖ Ligas de Co e de Ni

Classificação e comportamento das superligas

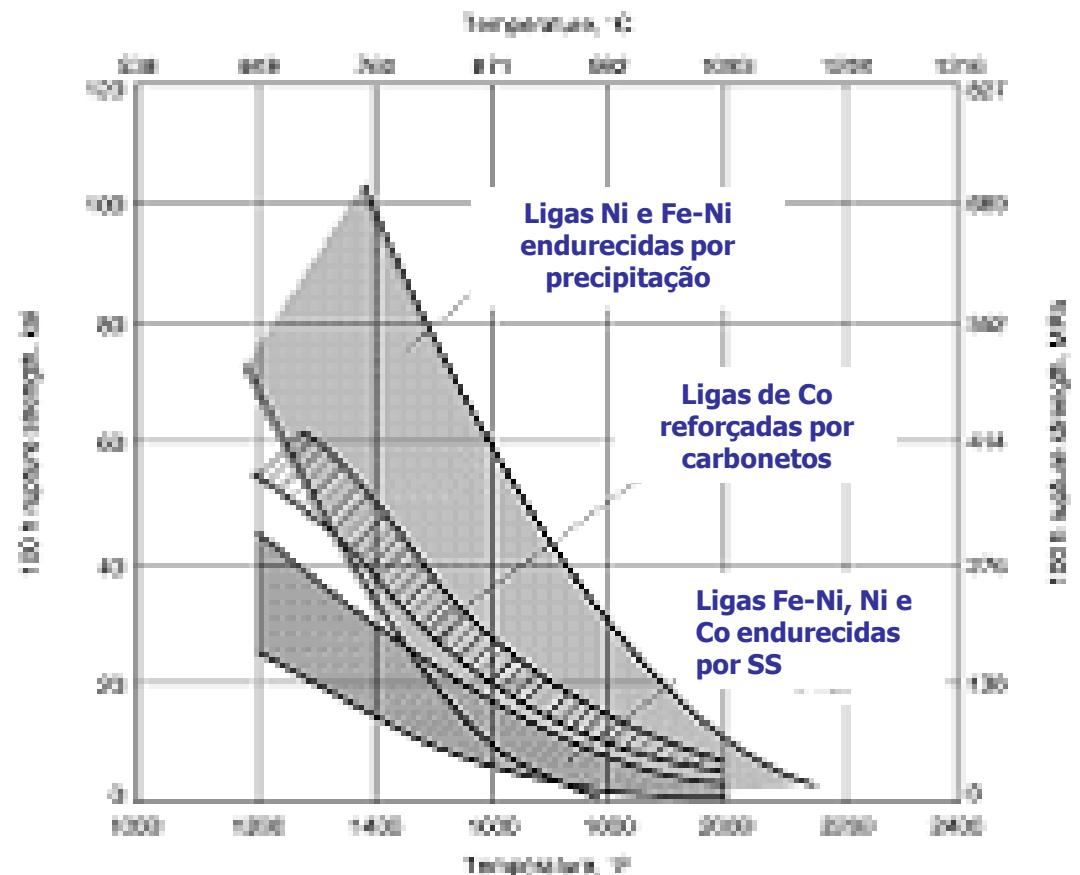
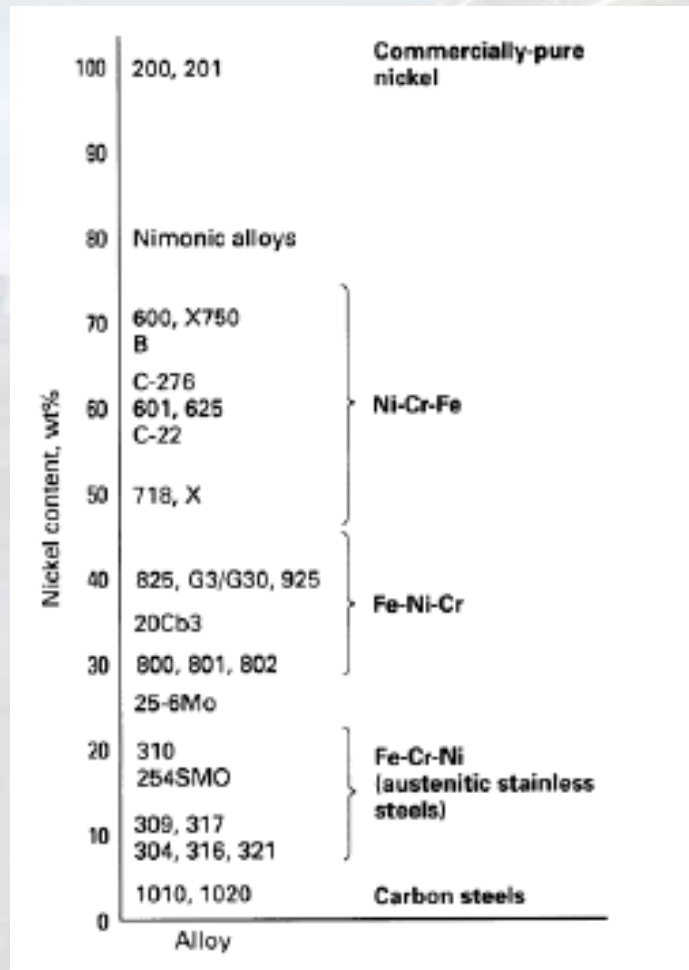
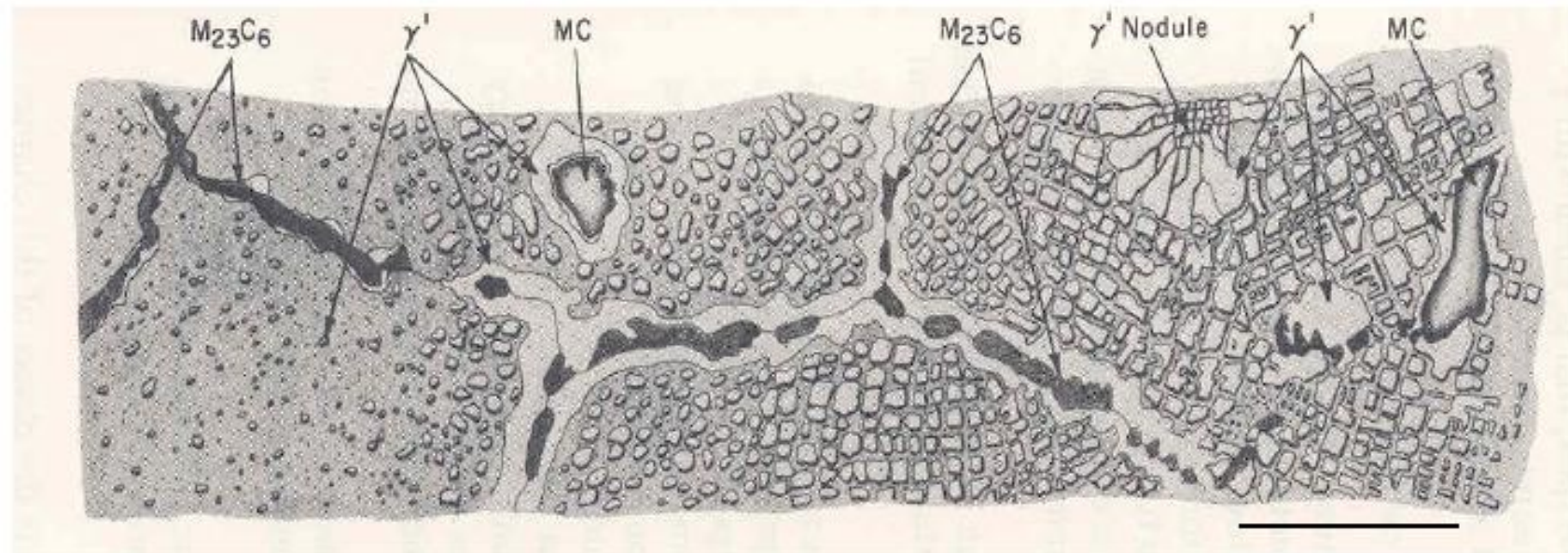


Fig. 1 General stress-rupture behavior of superalloys

❖ Ligas de Co e de Ni

Evolução da microestrutura



5 μm

Stress Capability
(Stress to 10'000 h failure at 900 °C)

1940

Date of issue

❖ Ligas de Co e de Ni

Ligas de Co

❖ Ligas de Co e de Ni

Cobalto

- Estrutura HC a temperatura ambiente
- Transformação alotrópica a 417°C estrutura muda para CFC

Ligas de Co

- Estrutura CFC
- Elementos de ligas: Cr, W, C

Mecanismos de endurecimento:

- Solução sólida
- Precipitação de carbonetos (tipo MC....M₂₃C₆, morfologia e distribuição)

Ligas de Co:

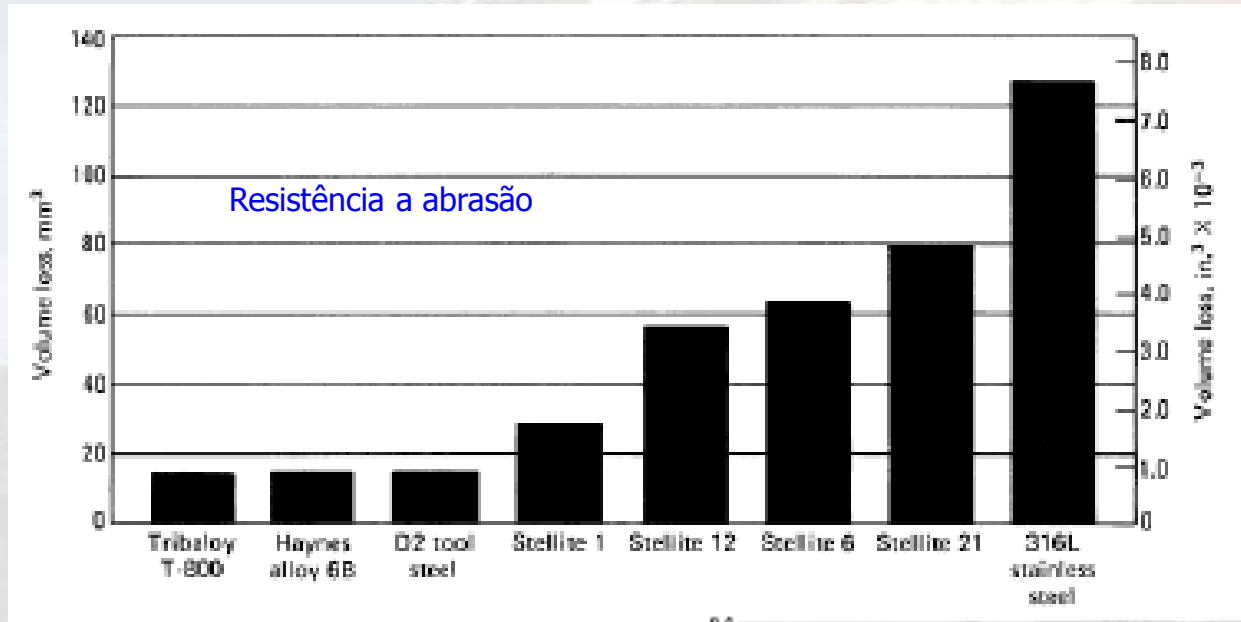
Ponto de fusão mais elevado que as ligas de Ni ou Fe, o que permite que absorver tensões a temperaturas mais elevadas.

Apresentam melhor resistência a corrosão a quente (em atmosferas das turbinas a gás), devido ao maior teor de Cr.

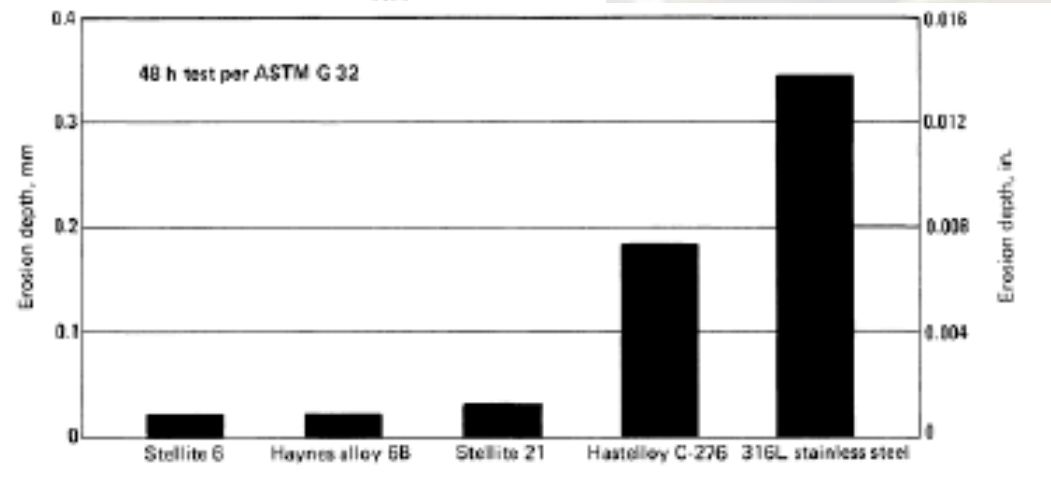
Apresentam melhor resistência a fadiga térmica e melhor soldabilidade que as ligas de Ni

❖ Ligas de Co e de Ni

Desempenho de ligas de Co

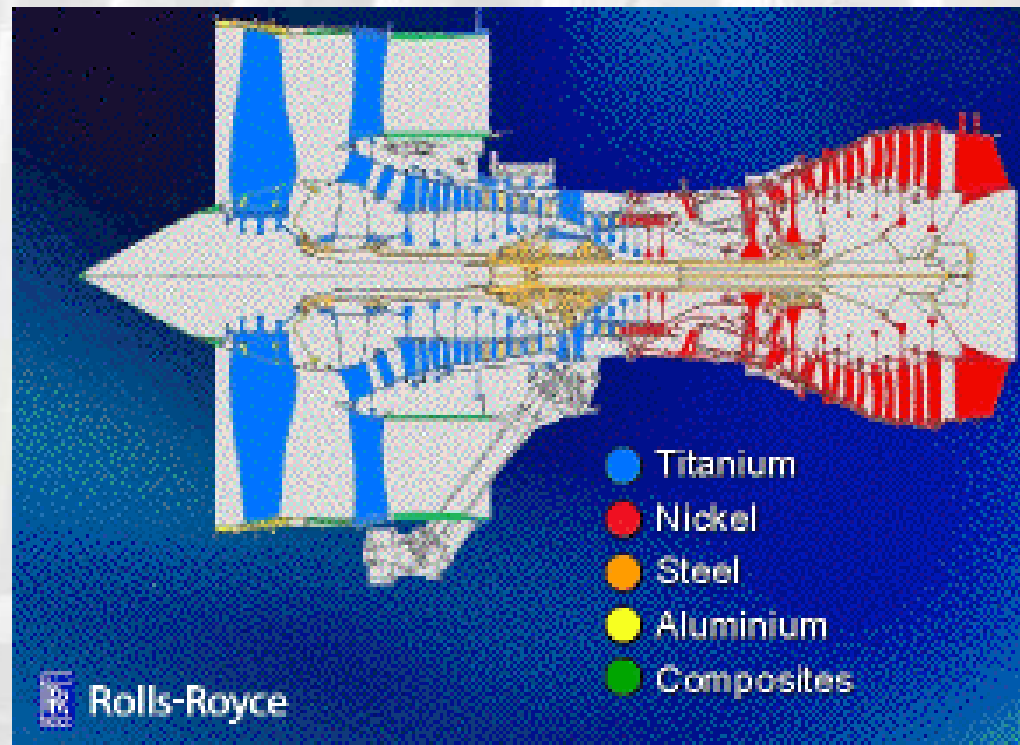


Resistência a cavitação



❖ Ligas de Co e de Ni

Ligas de Ni



Rolls-Royce

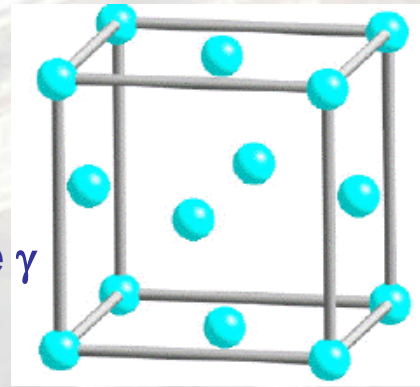
- Titanium
- Nickel
- Steel
- Aluminium
- Composites

❖ Ligas de Co e de Ni

Niquel

Estrutura CFC γ

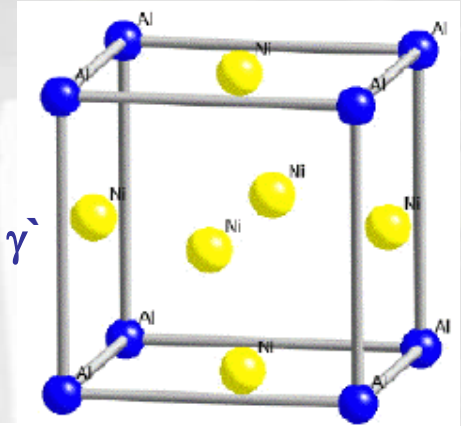
Fase γ



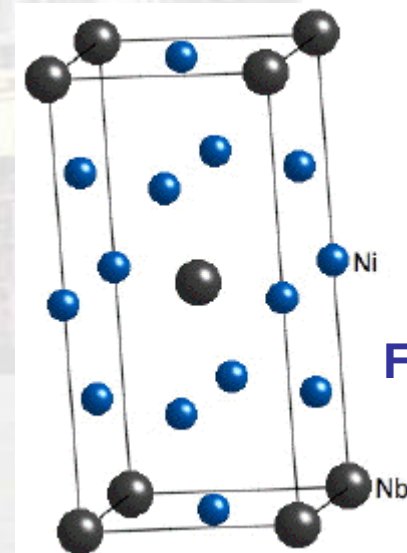
Ligas de Ni:

- Ligas NiCr e NiMo
- Adição de Co reduz a solubilidade de outros elementos e promove a precipitação
- Adição de Al e Ti promovem a formação do precipitado γ'
- Alguns elementos formam a fase γ''
- Carbonetos nos contornos de grão

Fase γ'



Fase γ''



❖ Ligas de Co e de Ni

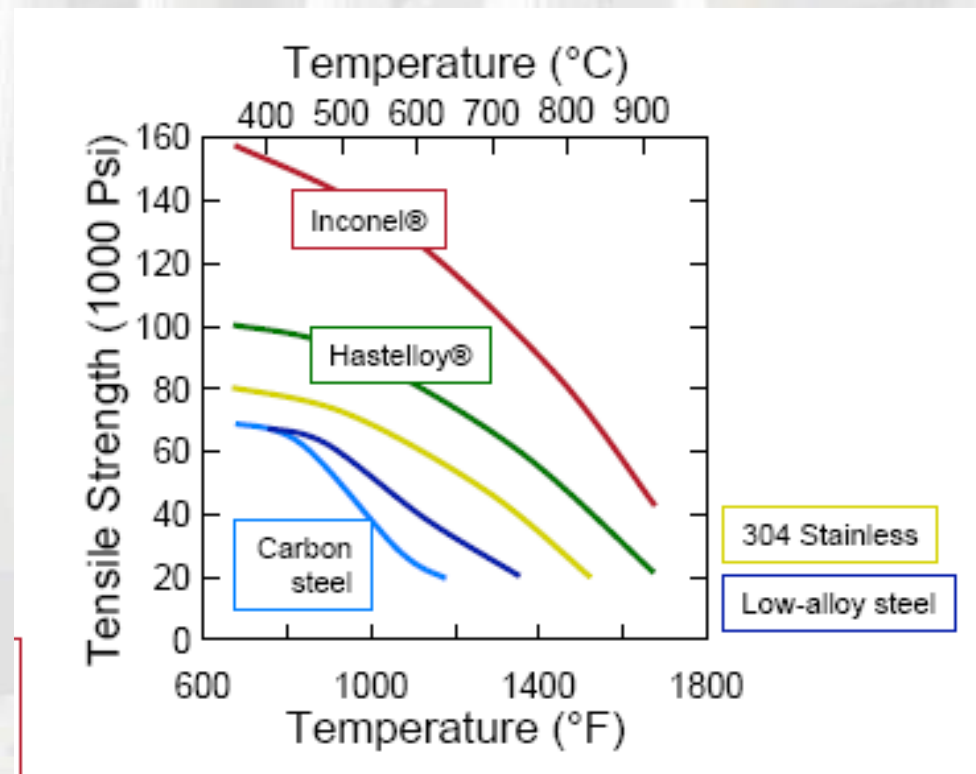
Ligas de Ni:

Ni-Cr (inconel) resistência a oxidação Ni-Fe (permalloy), magnéticas

Ni-Mo (hastelloy)

Outras superligas

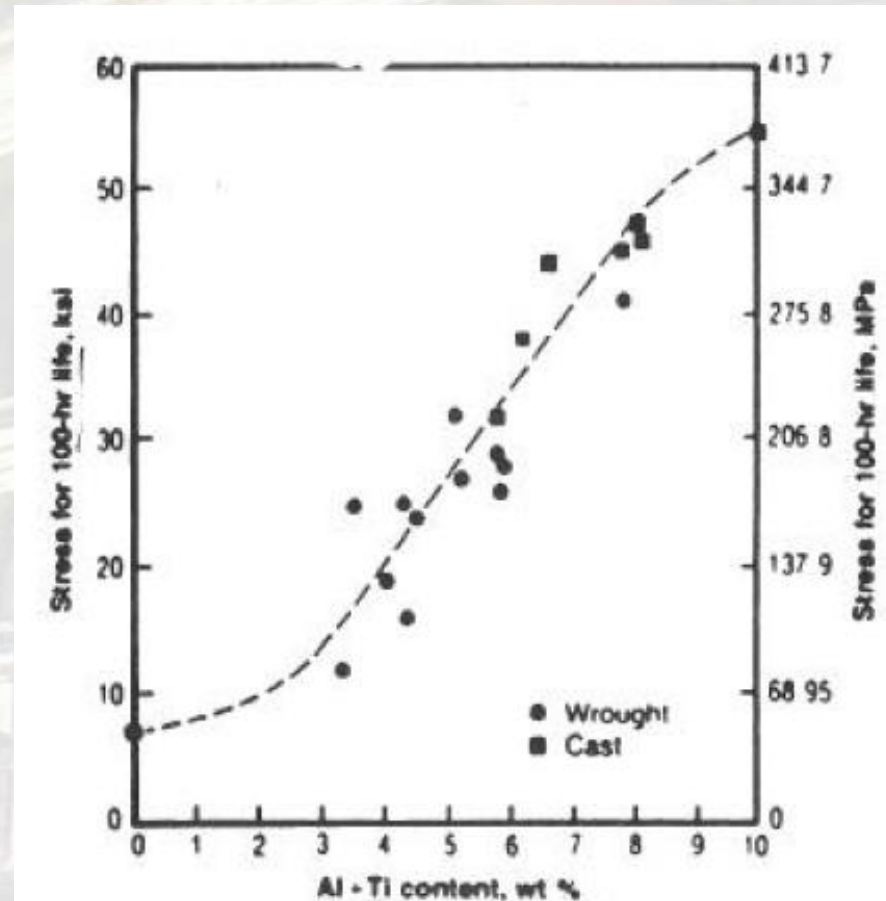
Resistência a temperaturas elevadas



❖ Ligas de Co e de Ni

Ligas de Ni:

Efeito da adição de Al e de Ti na resistência de ligas de Ni a 870°C



Ligas de Ni:

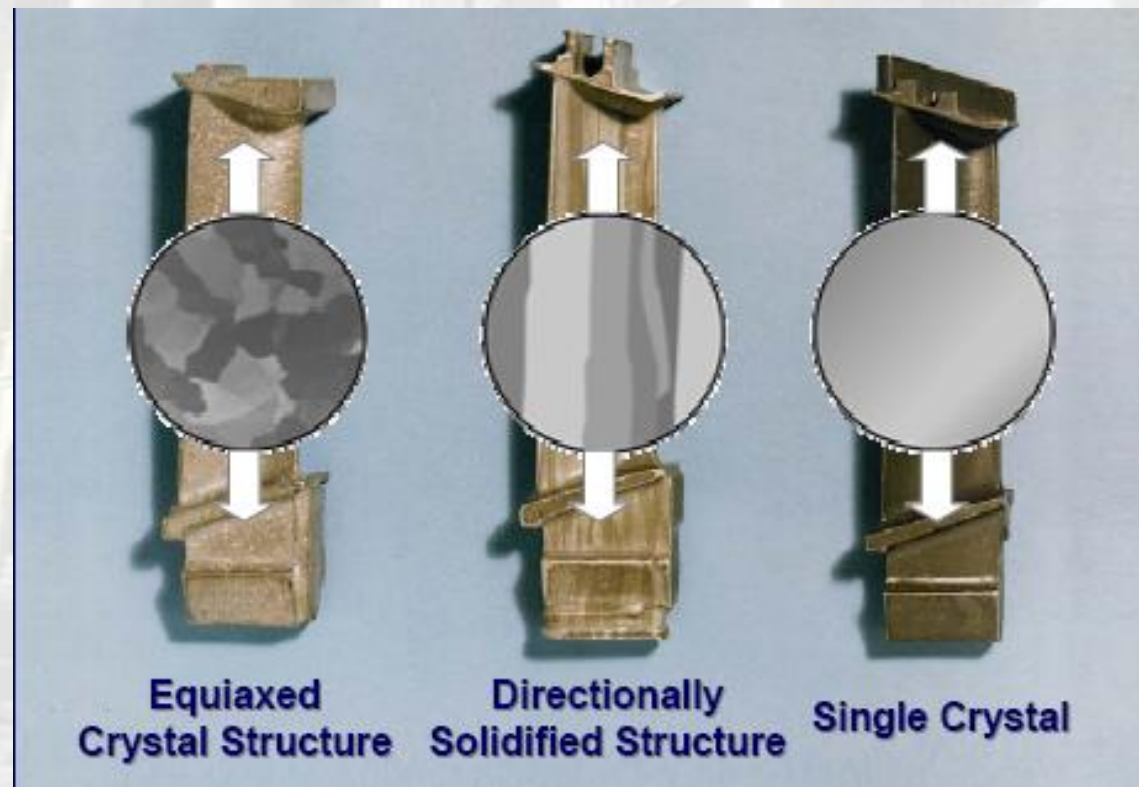
- Aplicações que requerem resistência a corrosão ou a resistência a temperaturas elevadas.
- Algumas ligas de Ni estão entre os materiais estruturais mais resistentes/tenazes
- Em relação ao aço as ligas de Ni apresentam resistência mecânica super elevada, elevados limites de proporcionalidade e elevado módulo de elasticidade.
- A temperaturas criogênicas são ligas resistentes e dúcteis
- A adição de carbono pode aumentar a temperatura de trabalho de 1000C para 1200C

❖ Ligas de Co e de Ni

Processamento

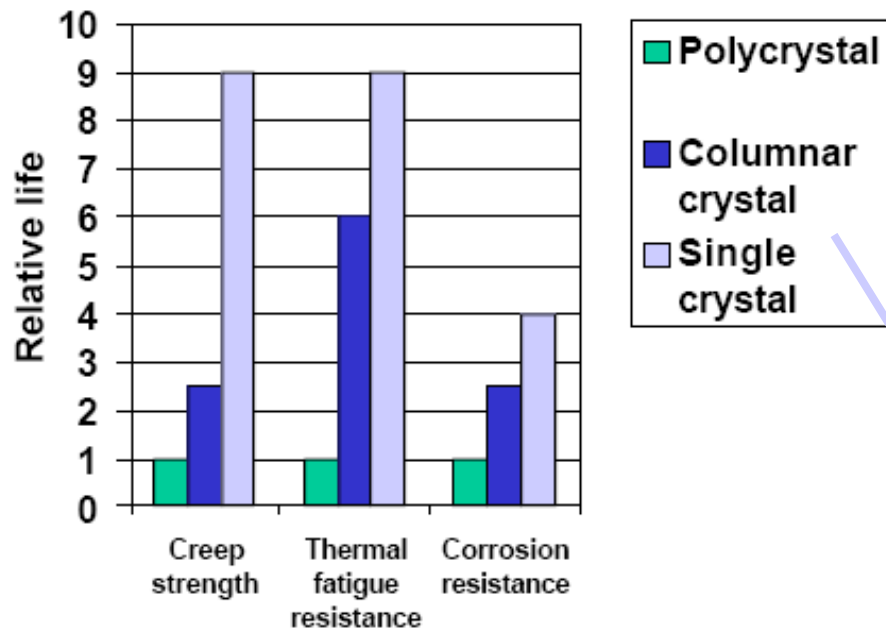
A maioria dos produtos fundidos são policristalinos equiaxiais (PC) ou solidificados direcionalmente (DS).

Componentes fundidos são intrinsicamente mais resistentes a altas temperaturas que os trabalhados; A composição dos componentes fundidos pode ser manipulada para que se obtenham propriedades especiais.



❖ Ligas de Co e de Ni

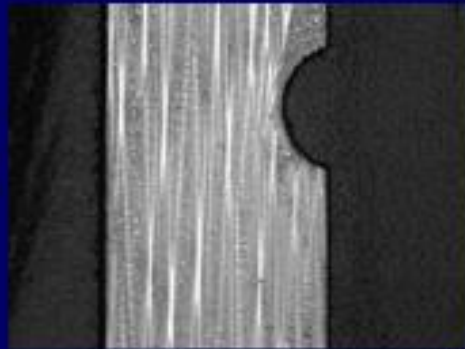
Processamento



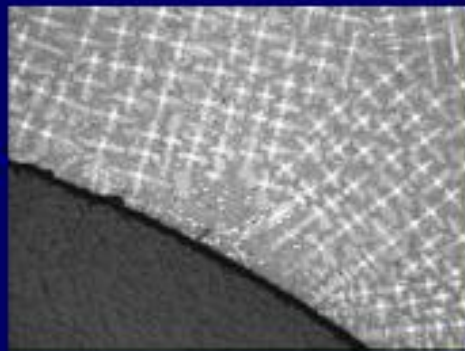
Processamento

As-cast dendritic microstructure

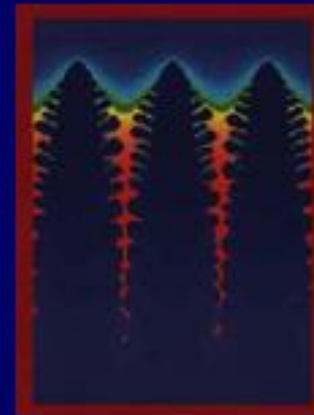
longitudinal section



transverse section



micrographs of DS as-cast superalloy IN792



simulation of dendrite growth

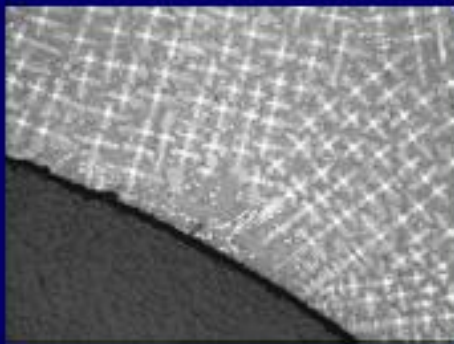
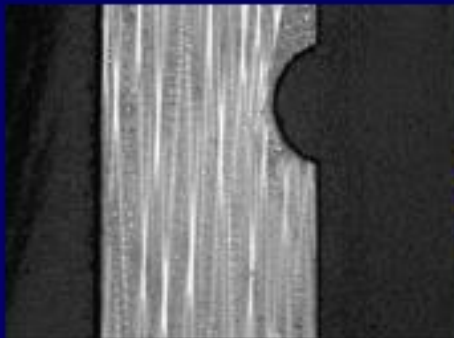


snow crystal dendrite

❖ Ligas de Co e de Ni

Tratamento térmico

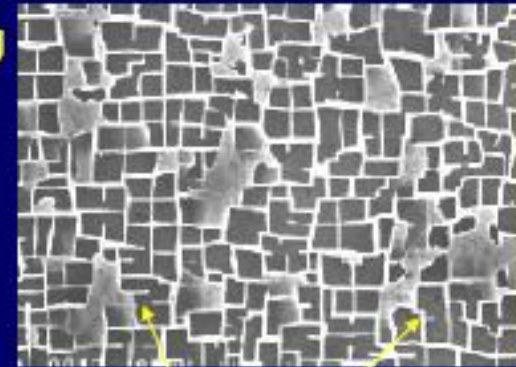
As-cast dendritic
microstructure



precipitation hardening
(solution treatment
+ ageing)



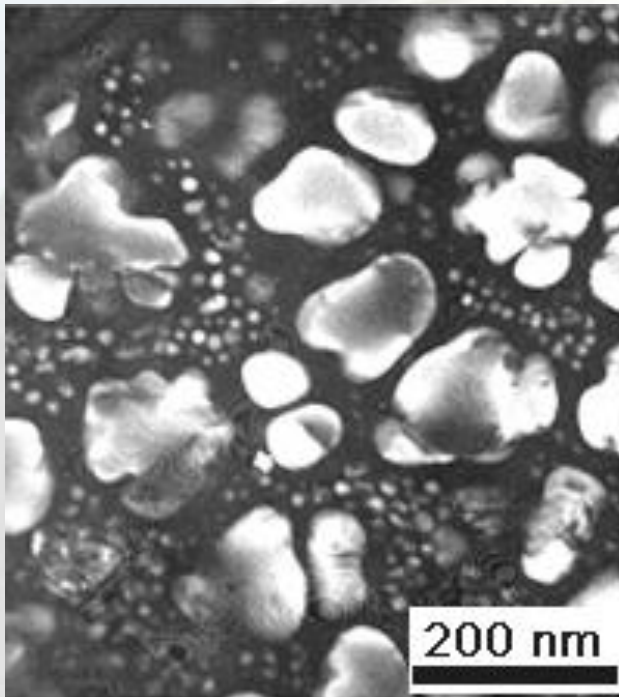
precipitation
hardened:
 γ' in γ matrix



γ'

γ

Tratamento térmico



Otimização de propriedades:
solubilização e precipitação a duas T diferentes no campo bifásico γ/γ' .

A T mais elevada precipita partículas grosseiras de γ'' .

Na segunda T, mais baixa, ocorre a precipitação da fase γ' fina e dispersa.

Tratamento térmico

Microstructure: Astroloy forging

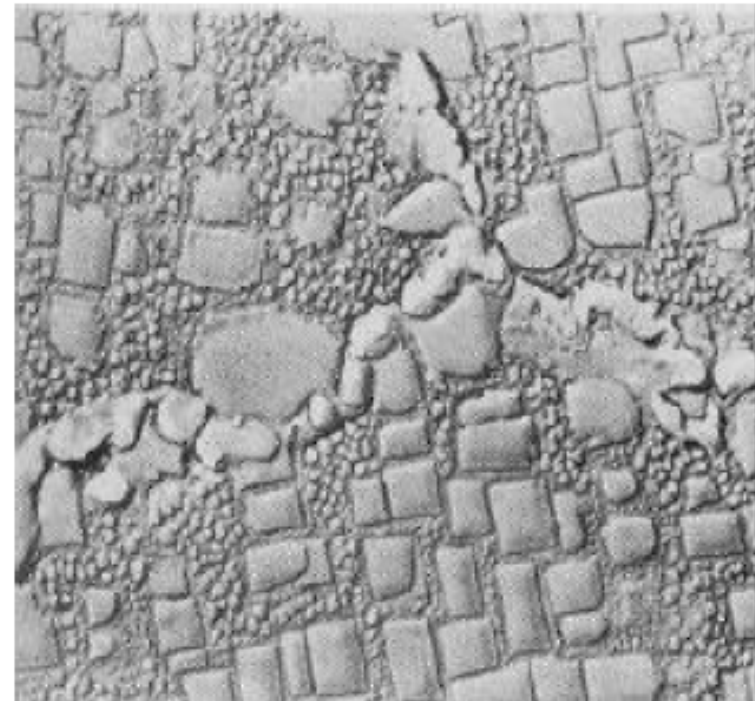


Fig 11-18: solution heat treated

1150°C 4h, air cooled,

aged 1079°C 4h, oil quenched,

aged 843°C 4h, air-cooled,

aged 760°C 16h, air cooled,

(intergranular γ' ppt)

(Fine γ' ppt)

(Fine γ' ppt)

❖ Ligas de Co e de Ni

Tratamento térmico

Ligas de Ni – efeito da distribuição de precipitados (γ')

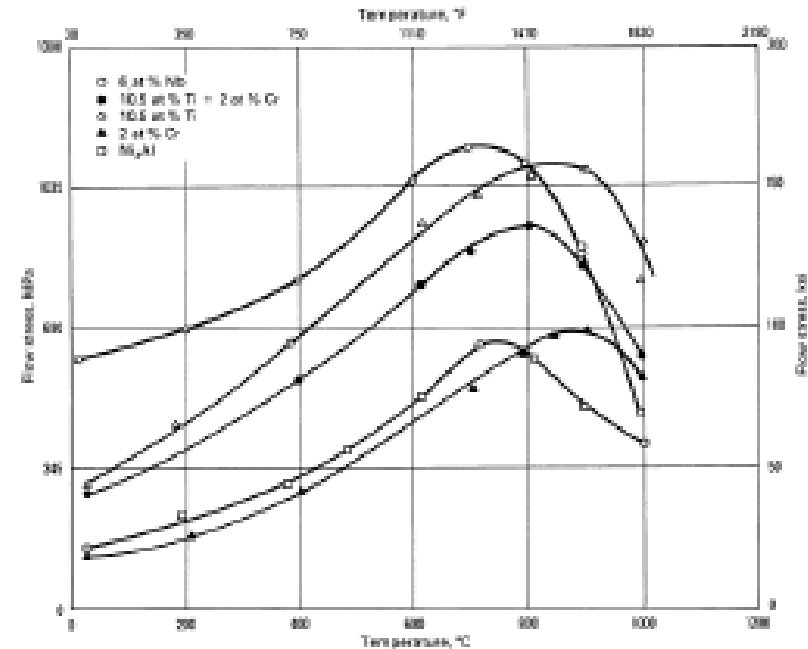
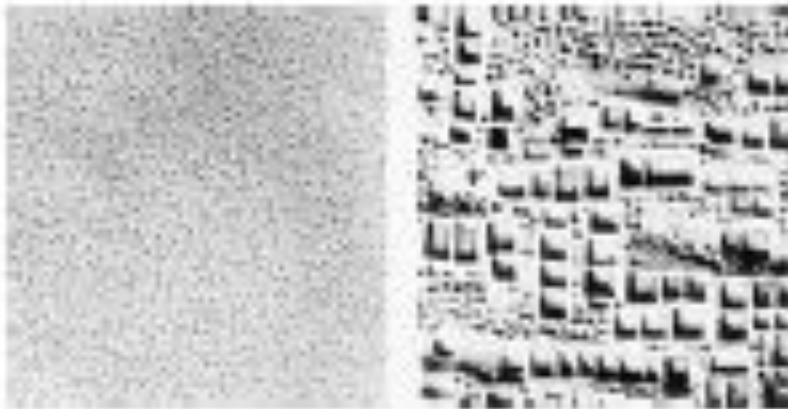
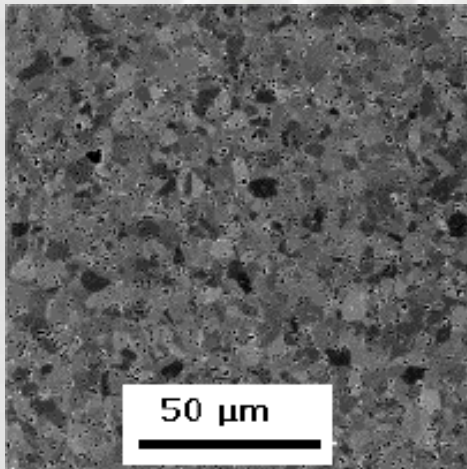


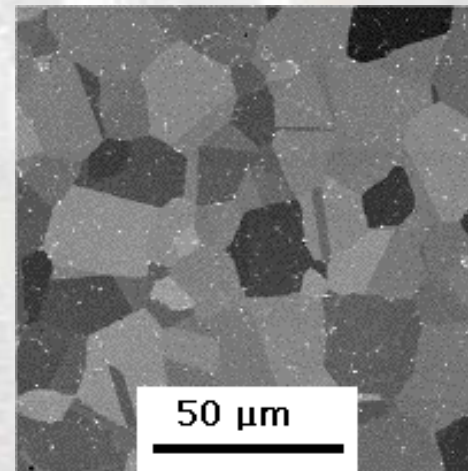
Fig. 3 Flow stress peak in γ' and influence of several solutes. Source: Ref 7

Tratamento térmico

A **T de solubilização** determina a quantidade de γ que dissolve e o tamanho de grão de γ . Este será tão mais grosseiro quanto mais γ for dissolvido, pois este é responsável pelo ancoramento dos contornos de grão γ/γ .



**T solubilização
< T solvus**



**T solubilização >
T solvus**

❖ Ligas de Co e de Ni

Resistência a fratura de ligas de Ni e de Co (1000h)

